

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-30578

(43) 公開日 平成6年(1994)2月4日

(51) Int.Cl.⁵

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 02 P 5/06

F 4238-5H

G 05 B 13/04

9131-3H

G 05 D 3/12

306 Z 9179-3H

審査請求 未請求 請求項の数10(全 46 頁)

(21) 出願番号 特願平4-138223

(22) 出願日 平成4年(1992)5月29日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 小山 正人

兵庫県尼崎市塙口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社産業システム研究所内

(72) 発明者 長野 鉄明

愛知県名古屋市東区矢田南五丁目1番14号 三菱電機株式会社名古屋製作所内

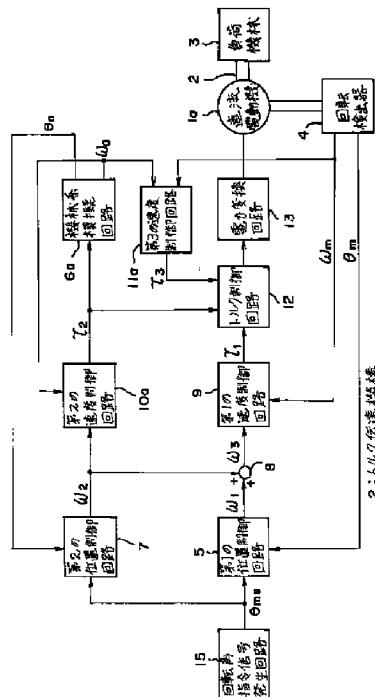
(74) 代理人 弁理士 高田 守

(54) 【発明の名称】 電動機の位置制御装置

(57) 【要約】

【目的】 高速応答性を有するとともに、機械振動を生じず、かつ負荷機械の慣性モーメントが変化しても常に一定の応答周波数を有する電動機の位置制御装置を得る。

【構成】 第1の位置制御回路5によって第1の速度信号を得るとともに、機械系模擬回路6aを制御対象とする第2の位置制御回路7によって第2の速度信号を得る。又、第1及び第2の速度信号を加算して第3の速度信号を得、第3の速度信号を入力された第1の速度制御回路9によって第1のトルク信号を得る。同様にして、第2及び第3の速度制御回路10a, 11aから第2及び第3のトルク信号を得、第1～第3のトルク信号を加算した最終トルク信号に追随するように電動機の発生トルクを制御する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器と、前記電動機の回転角指令信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械及び電動機を二つの積分要素として近似するとともに後述の第2のトルク信号に基づいて模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路と、前記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路と、前記第1の速度信号と前記第2の速度信号とを加算して第3の速度信号を出力する加算器と、前記第3の速度信号及び前記回転検出器から出力された実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路と、前記第2の速度信号及び前記模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路と、前記実速度信号及び模擬速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路と、前記第1のトルク信号と前記第2のトルク信号と前記第3のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段とを備えたことを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項2】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器と、前記電動機の回転角指令信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械及び電動機を二つの積分要素として近似するとともに後述の第2のトルク信号に基づいて模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路と、前記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路と、前記第1の速度信号と前記第2の速度信号とを加算して第3の速度信号を出力する加算器と、前記第3の速度信号及び前記回転検出器から出力された実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路と、前記第2の速度信号及び前記模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路と、前記実速度信号及び模擬速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路と、前記第1のトルク信号と前記第2のトルク信号と前記第3のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記第1のトルク信号と前記第2のトルク信号と前記第3のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する修正回路とを備え、前記修正回路は前記第3のトルク信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記機械系模擬回路の積分時定数及び少なくとも前記第2の速度制御回路のゲインを修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項3】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出

50

2

する回転検出器と、前記電動機の回転角指令信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械及び電動機を二つの積分要素として近似するとともに後述の第2のトルク信号及び第3のトルク信号に基づいて模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路と、前記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路と、前記第1の速度信号と前記第2の速度信号とを加算して第3の速度信号を出力する加算器と、前記第3の速度信号及び前記回転検出器から出力された実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路と、前記第2の速度信号及び前記模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路と、前記実速度信号及び模擬速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路と、前記第1のトルク信号と前記第2のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段とを備えたことを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項4】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器と、前記電動機の回転角指令信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械及び電動機を二つの積分要素として近似するとともに後述の第2のトルク信号及び第3のトルク信号に基づいて模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路と、前記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路と、前記第1の速度信号と前記第2の速度信号とを加算して第3の速度信号を出力する加算器と、前記第3の速度信号及び前記回転検出器から出力された実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路と、前記第2の速度信号及び前記模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路と、前記実速度信号及び模擬速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路と、前記第1のトルク信号と前記第2のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記第3のトルク信号を入力とする修正回路とを備え、前記修正回路は前記第3のトルク信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記機械系模擬回路の積分時定数及び少なくとも前記第2の速度制御回路のゲインを修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項5】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転角指令信号を入力してすくなくとも2回の積分演算を含む所定の関数演算により模擬回転角信号と模擬速度信号と模擬トルク信号とをそれぞれ出力するフィードフォワード信号演算回路と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器

と、前記模擬回転角信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する位置制御回路と、前記模擬速度信号と前記第1の速度信号と前記回転検出器から出力された実速度信号とにに基づいて第1のトルク信号を出力する速度制御回路と、前記模擬トルク信号及び前記第1のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段とを備えたことを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項6】 上記請求項5記載の電動機の位置制御装置において、フィードフォワード信号演算回路がトルク伝達機構、負荷機械及び電動機を二つの積分要素として近似するとともに後述の模擬トルク信号に基づいて模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路と、回転角指令信号及び前記模擬回転角信号に基づいて模擬速度指令信号を出力する模擬位置制御回路と、前記模擬速度指令信号及び前記模擬速度信号に基づいて模擬トルク信号を出力する模擬速度制御回路とから構成されたことを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項7】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転角指令信号を入力してすくなくとも2回の積分演算を含む所定の関数演算により模擬回転角信号と模擬速度信号と模擬トルク信号とをそれぞれ出力するフィードフォワード信号演算回路と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器と、前記模擬回転角信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する位置制御回路と、前記模擬速度信号と前記第1の速度信号と前記回転検出器から出力された実速度信号とにに基づいて第1のトルク信号を出力する速度制御回路と、前記模擬トルク信号及び前記第1のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記模擬回転角信号及び前記実回転角信号を入力とする修正回路とを備え、前記修正回路は前記模擬回転角信号と前記実回転角信号との回転角偏差信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記フィードフォワード信号演算回路中の制御パラメータを修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項8】 上記請求項7記載の電動機の位置制御装置において、フィードフォワード信号演算回路が後述の模擬トルク信号を積分して模擬速度信号を出力する第1の積分器と、前記模擬速度信号を積分して模擬回転角信号出力する第2の積分器から構成された機械系模擬回路と、回転角指令信号及び前記模擬回転角信号に基づいて模擬速度指令信号を出力する模擬位置制御回路と、前記模擬速度指令信号及び前記模擬速度信号に基づいて模擬トルク信号を出力する模擬速度制御回路とから構成されるとともに、修正回路が前記模擬速度信号と実速度信号との速度偏差信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記フィードフォワード信号演算回路中の第1の積分器の積分時定数を修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

置制御装置。

【請求項9】 トルク伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転角指令信号を入力してすくなくとも2回の積分演算を含む所定の関数演算により模擬回転角信号と模擬速度信号と模擬トルク信号とをそれぞれ出力するフィードフォワード信号演算回路と、前記電動機の回転速度及び回転角を検出する回転検出器と、前記模擬回転角信号及び前記回転検出器から出力された実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する位置制御回路と、前記模擬速度信号と前記第1の速度信号と前記回転検出器から出力された実速度信号とにに基づいて第1のトルク信号を出力する速度制御回路と、前記模擬トルク信号及び前記第1のトルク信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記模擬回転角信号及び前記実回転角信号を入力とする修正回路とを備え、前記修正回路は前記模擬回転角信号と前記実回転角信号との回転角偏差信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記フィードフォワード信号演算回路中の制御パラメータを修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

【請求項10】 上記請求項9記載の電動機の位置制御装置において、フィードフォワード信号演算回路が後述の模擬トルク信号を積分して模擬速度信号を出力する第1の積分器と、前記模擬速度信号を積分して模擬回転角信号出力する第2の積分器から構成された機械系模擬回路と、回転角指令信号及び前記模擬回転角信号に基づいて模擬速度指令信号を出力する模擬位置制御回路と、前記模擬速度指令信号及び前記模擬速度信号に基づいて模擬トルク信号を出力する模擬速度制御回路とから構成されるとともに、修正回路が前記模擬回転角信号と実回転角信号との回転角偏差信号の振幅を所定値以下に減少させるように前記フィードフォワード信号演算回路中の第1の積分器の積分時定数を修正することを特徴とする電動機の位置制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、例えば、工作機械におけるテーブルや電動式産業用ロボットのアームのような負荷機械を駆動する電動機（直流電動機、誘導電動機、同期電動機など）の位置制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来例の構成を図17を参照しながら説明する。図17は、例えば、昭和62年に社団法人日本能率協会主催で開催された小形モータ技術シンポジウムのSession B-4で発表された従来の電動機の位置制御装置を示すブロック図である。図17において、1aは直流電動機、4aは速度検出器、4bは位置検出器、5aは減算器、5bは位置制御回路、5cはフィードフォワード速度信号発生回路、5dは加算器、9aは減算

5

器、9 bは速度制御回路、13は電力変換回路、15は回転角指令信号発生回路である。

【0003】次に、上述した従来例の動作について説明する。まず、速度指令信号 ω_{m1} が位置制御回路5 bによって出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から出力された回転角指令信号 θ_m と、位置検出器4 bから出力された実回転角信号 θ_m との回転角偏差信号 $\Delta\theta$ (= $\theta_m - \theta_m$)が減算器5 aによって求められる。つづいて、この回転角偏差信号 $\Delta\theta$ を位置制御回路5 bに入力すると、速度指令信号 ω_{m1} が出力される。

【0004】つづいて、フィードフォワード速度信号発生回路5 cから、フィードフォワード速度信号 ω_{m2} が出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から出力された回転角指令信号 θ_m がフィードフォワード速度信号発生回路5 cに入力され、微分演算により回転角指令信号 θ_m の変化率信号すなわちフィードフォワード速度信号 ω_{m2} が求められる。

【0005】次に、上記の速度指令信号 ω_{m1} とフィードフォワード速度信号 ω_{m2} との和が加算器5 dによって求められ、最終速度指令信号 ω_m (= $\omega_{m1} + \omega_{m2}$)として出力される。

【0006】つづいて、制御信号が速度制御回路9 bによって出力される。すなわち、上記の最終速度指令信号 ω_m と、速度検出器4 aから出力された実速度信号 ω_m との速度偏差信号 $\Delta\omega$ (= $\omega_m - \omega_m$)が減算器9 aによって求められる。つづいて、この速度偏差信号 $\Delta\omega$ を速度制御回路9 bに入力すると、トルク信号が求められる。さらに、直流電動機1 aの発生トルクがこのトルク信号に追隨するように電力変換回路13を動作させる制御信号が発生され、電力変換回路13に供給される。

【0007】なお、直流電動機1 aの電機子電流は、発生トルクにはほぼ比例するので、速度制御の応答性の向上を図るために、通常、速度制御回路9 bの内部に電流フィードバックループが構成される。

【0008】このように、直流電動機1 aの回転角すなわち位置を高い応答性でその指令信号に追隨させるために、マイナーループとして速度制御ループや電流制御ループが挿入された制御系は、衆知のようにカスケード接続型の制御系と呼ばれている。このようなカスケード接続型の制御系では、マイナーループほど高速応答性が要求される。図17に示された従来の電動機の位置制御装置においては、電流制御ループ、速度制御ループ、位置制御ループの順に高速応答性が必要である。通常、電流制御ループの応答周波数は速度制御ループの応答周波数の数倍以上、また、速度制御ループの応答周波数は位置制御ループの応答周波数の数倍以上となるように制御系のゲインが設定される。

【0009】したがって、位置制御ループの応答性を上げるためには、速度制御ループの応答性を上げる必要があるが、図17に示された従来の電動機の位置制御装置

6

では、フィードフォワード速度信号発生回路5 cを付加して、位置制御ループの応答性を改善していた。すなわち、フィードフォワード速度信号発生回路5 cから回転角指令信号 θ_m の変化率に比例したフィードフォワード速度信号 ω_{m2} が出力される。電動機の速度 ω_m は回転角 θ_m の微分値であることから、このフィードフォワード速度信号 ω_{m2} に直流電動機1 aの実速度 ω_m が追隨するように速度制御回路9 bによって制御することにより、直流電動機1 aの回転角 θ_m が回転角指令信号 θ_m に追隨することが理解される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】 上述したような従来の電動機の位置制御装置では、速度制御ループの応答性の制約から、位置制御回路のゲインを上げるのが困難な場合でも、フィードフォワード速度信号発生回路5 cの働きにより、高速応答の位置制御が可能である。

【0011】しかしながら、フィードフォワード速度信号発生回路5 cでは、微分演算によってフィードフォワード速度信号を求めていたため、回転角指令信号 θ_m の変化が滑らかでないと急峻な速度変化が生じ、ひいては急峻な発生トルクの変化が生じる。このような場合、例えば、工作機械のテーブルをボールねじを介して駆動すると、テーブルに大きな衝撃力が加わり、機械振動や機械音を発生するという問題があった。また、トルク伝達機構として使用されるボールねじの剛性が低い場合や、ギアを用いた減速機にガタ(パックラッシ)がある場合は、速度制御ループの応答周波数を上げると大きな機械振動が発生しやすいので、トルク伝達機構を介してテーブルなどの負荷機械を駆動する場合は、電動機単体を駆動する場合と比較して、速度制御ループの応答周波数を下げる必要がある。さらに、電動式産業用ロボットのように、負荷機械であるアームの慣性モーメントがアームの位置によって大きく変化する場合は、アームの慣性モーメントが増加すると速度制御ループの応答周波数が低下する。これらのような場合は、フィードフォワード速度信号発生回路によってフィードフォワード速度信号を求めて、速度制御ループの応答周波数が低いため、電動機の速度がこのフィードフォワード速度信号に追隨しなくなり、回転角すなわち位置の応答にオーバーシュートが発生するという問題があった。

【0012】この発明は、これらの課題を解決するためになされたもので、高速応答性を有しつつ機械振動を生じない電動機の位置制御装置を得るとともに、負荷機械の慣性モーメントが変化する場合でも、常に一定の応答周波数をもった電動機の位置制御装置を得ることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】 この発明の請求項1における電動機の位置制御装置は、以下に述べるような手段を備えたものである。

(1) 回転角指令信号及び電動機の実回転角信号に基づいて、第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路。

(2) 電動機、トルク伝達機構及び負荷機械を二つの積分要素として近似し模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路。

(3) 上記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路。

(4) 上記第1の速度信号と第2の速度信号を加算して第3の速度信号を出力する加算器。

(5) 上記第3の速度信号及び回転検出器から出力された電動機の実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路。

(6) 上記第2の速度信号及び模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路。

(7) 上記模擬速度信号及び実速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路。

(8) 上記第1のトルク信号と第2のトルク信号と第3のトルク信号に基づいて上記電動機の発生トルクを制御する制御手段。

【0014】この発明の請求項2における電動機の位置制御装置は、さらに、上記第3の速度制御回路から出力される第3のトルク信号に基づいて、上記機械系模擬回路の積分時定数及び上記第2の速度制御回路のゲインを修正する修正回路を備えたものである。

【0015】請求項3における電動機の位置制御装置は、以下に述べるような手段を備えたものである。

(1) 回転角指令信号及び電動機の実回転角信号に基づいて、第1の速度信号を出力する第1の位置制御回路。

(2) 電動機、トルク伝達機構及び負荷機械を二つの積分要素として近似し模擬速度信号及び模擬回転角信号を出力する機械系模擬回路。

(3) 上記回転角指令信号及び模擬回転角信号に基づいて第2の速度信号を出力する第2の位置制御回路。

(4) 上記第1の速度信号と第2の速度信号を加算して第3の速度信号を出力する加算器。

(5) 上記第3の速度信号及び回転検出器から出力された電動機の実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する第1の速度制御回路。

(6) 上記第2の速度信号及び模擬速度信号に基づいて第2のトルク信号を出力する第2の速度制御回路。

(7) 上記模擬速度信号及び実速度信号に基づいて第3のトルク信号を出力する第3の速度制御回路。

(8) 上記第1のトルク信号と第2のトルク信号に基づいて上記電動機の発生トルクを制御する制御手段。

【0016】請求項4における電動機の位置制御装置は、さらに、上記第3の速度制御回路から出力される第3のトルク信号に基づいて、上記機械系模擬回路の積分時定数及び上記第2の速度制御回路のゲインを修正する修正回路を備えたものである。

【0017】請求項5、6における電動機の位置制御裝

置は、以下に述べるような手段を備えたものである。

(1) 回転角指令信号に基づいて、模擬回転角信号、模擬速度信号及び模擬トルク信号を出力するフィードフォワード信号演算回路。

(2) 上記模擬回転角信号及び回転検出器から出力された電動機の実回転角信号に基づいて第1の速度信号を出力する位置制御回路。

(3) 上記模擬速度信号、第1の速度信号及び回転検出器から出力された電動機の実速度信号に基づいて第1のトルク信号を出力する速度制御回路。

(4) 上記模擬トルク信号及び第1のトルク信号に基づいて上記電動機の発生トルクを制御する制御手段。

【0018】請求項7、8における電動機の位置制御装置は、さらに、上記模擬速度信号と上記実速度信号との速度偏差信号に基づいて、上記フィードフォワード信号演算回路の制御パラメータを修正する修正回路を備えたものである。また、請求項9における電動機の位置制御装置は、上記模擬回転角信号と上記実回転角信号との回転角偏差信号に基づいて、上記フィードフォワード信号演算回路の制御パラメータを修正する修正回路を備えたものである。

【0019】

【作用】この発明の請求項1においては、第1の位置制御回路によって、第1の速度信号が得られる。さらに、機械系模擬回路を制御対象とする第2の位置制御回路によって、第2の速度制御信号が得られる。つづいて、上記第1の速度信号と第2の速度信号の和である第3の速度信号が加算器によって求められ、第1の速度制御回路に供給され、第1の速度制御回路によって、第1のトルク信号が得られる。同様に、第2の速度信号を第2の速度制御回路に入力すると、第2のトルク信号が得られる。さらに、第3の速度制御回路から第3のトルク信号が出力される。又、制御手段によって、上記第1のトルク信号と第2のトルク信号と第3のトルク信号とを加算した最終トルク信号に、電動機の発生トルクが追随するように制御される。

【0020】請求項2における修正回路は、第3の速度制御回路から出力される第3のトルク信号を入力し、この第3のトルク信号に含まれる実速度信号と模擬速度信号との偏差に比例した信号成分の絶対値を減少させるよう機械系模擬回路の積分時定数を修正するとともに、この積分時定数に応じて少なくとも第2の速度制御回路のゲインを修正するように作用する。

【0021】請求項3においては、第1の位置制御回路によって、第1の速度信号が得られる。さらに、機械系模擬回路を制御対象とする第2の位置制御回路によって、第2の速度制御信号が得られる。つづいて、上記第1の速度信号と第2の速度信号の和が加算器によって求められ、第1の速度制御回路に供給される。すると、第1の速度制御回路によって、第1のトルク信号が得られ

る。同様に、第2の速度信号を第2の速度制御回路に入力すると、第2のトルク信号が得られる。さらに、第3の速度制御回路から第3のトルク信号が输出される。つづいて、制御手段によって、上記第1のトルク信号と第2のトルク信号を加算した最終トルク信号に、電動機の発生トルクが追随するように制御される。

【0022】請求項4における修正回路は、第3の速度制御回路から出力される第3のトルク信号を入力し、この第3のトルク信号に含まれる実速度信号と模擬速度信号との偏差に比例した信号成分の絶対値を減少させるよう機械系模擬回路の積分時定数を修正するとともに、この積分時定数に応じて少なくとも第2の速度制御回路のゲインを修正するように作用する。

【0023】又、請求項5、6においては、フィードフォワード信号演算回路によって、回転角指令信号に対し所定の応答特性を具備した模擬回転角信号、模擬速度信号及び模擬トルク信号がそれぞれ得られる。つづいて、位置制御回路によって、上記模擬回転角信号と回転検出器から出力された電動機の実回転角信号とから第1の速度信号が求められる。さらに、速度制御回路によって、上記模擬速度信号と上記回転検出器から出力された電動機の実回転角信号とから第1のトルク信号が求められる。つづいて、制御手段によって、上記模擬トルク信号と第1のトルク信号を加算した最終トルク信号に電動機の発生トルクが追随するように制御される。

【0024】請求項7、8における修正回路は、模擬速度信号と実速度信号との速度偏差信号の絶対値を減少させるよう負荷機械の慣性モーメントの変化に応じてフィードフォワード信号演算回路中の制御パラメータの値を修正する。また、請求項9における修正回路は、模擬回転角信号と実回転角信号との回転角偏差信号の絶対値を減少させるよう負荷機械の慣性モーメントの変化に応じてフィードフォワード信号演算回路中の制御パラメータの値を修正する。

【0025】

【実施例】実施例1. 以下、この発明の実施例1の構成を、図1～図8を参照しながら説明する。図1は、この発明の実施例1の全体を示すブロック図であり、直流電動機1aと電力変換回路13は上記従来装置のものと全く同一である。

【0026】図1において、この発明の実施例1は、上述した従来装置と全く同一のものと、トルク伝達機構2と、負荷機械3と、直流電動機1aの回転速度及び回転角を検出する回転検出器4と、第1の位置制御回路5と、機械系模擬回路6aと、第2の位置制御回路7と、加算器8と、第1の速度制御回路9と、第2の速度制御回路10aと、第3の速度制御回路11aと、トルク制御回路12と、回転角指令信号発生回路15とから構成されている。

【0027】回転検出器4は、例えば、従来装置におけ

るタコジェネレータのような速度検出器と、エンコーダのような位置検出器とから構成されている。また、この発明における直流電動機1aのトルクの制御手段は、トルク制御回路12と、電力変換回路13とから構成されている。

【0028】図2は、上述した第1の位置制御回路5の詳細な構成を示すブロック図である。図において、第1の位置制御回路5は、回転角指令信号発生回路15に接続された入力端子21と、回転検出器4に接続された入力端子22と、これら入力端子21、22に接続された減算器23と、この減算器23に接続された係数器24と、この係数器24に接続された出力端子25とから構成されている。

【0029】図3は、上述した機械系模擬回路6aの詳細な構成を示すブロック図である。図において、機械系模擬回路6aは、第2の速度制御回路10aに接続された入力端子26と、この入力端子26に接続された積分器27と、この積分器27に接続された積分器28と、積分器27に接続された出力端子29と、積分器28に接続された出力端子30とから構成されている。

【0030】図4は、上述した第2の位置制御回路7の詳細な構成を示すブロック図である。図において、第2の位置制御回路7は、回転角指令信号発生回路15に接続された入力端子31と、機械系模擬回路6aに接続された入力端子32と、これら入力端子31、32に接続された減算器33と、この減算器33に接続された係数器34と、この係数器34に接続された出力端子35とから構成されている。

【0031】図5は、上述した第1の速度制御回路9の詳細な構成を示すブロック図である。図において、第1の速度制御回路9は、加算器8に接続された入力端子41と、回転検出器4に接続された入力端子42と、これら入力端子41、42に接続された減算器43と、この減算器43に接続された積分器44と、減算器43に接続された係数器45と、積分器44及び係数器45に接続された加算器46と、この加算器46に接続された制限回路47と、この制限回路47に接続された出力端子48とから構成されている。

【0032】図6は、上述した第2の速度制御回路10aの詳細な構成を示すブロック図である。図において、第2の速度制御回路10aは、第2の位置制御回路7に接続された入力端子51と、機械系模擬回路6aに接続された入力端子52と、これら入力端子51、52に接続された減算器53と、この減算器53に接続された積分器54と、減算器53に接続された係数器55と、積分器54及び係数器55に接続された加算器56と、この加算器56に接続された制限回路57と、この制限回路57に接続された出力端子58とから構成されている。

【0033】図7は、上述した第3の速度制御回路11a

11

aの詳細な構成を示すブロック図である。図において、第3の速度制御回路11aは、機械系模擬回路6aに接続された入力端子60と、回転検出器4に接続された入力端子61と、これら入力端子60, 61に接続された減算器62と、この減算器62に接続された積分器63と、減算器62に接続された係数器64と、積分器63及び係数器64に接続された加算器65と、この加算器65に接続された出力端子66とから構成されている。

【0034】図8は、上述したトルク制御回路12の詳細な構成を示すブロック図である。図において、トルク制御回路12は、第1の速度制御回路9に接続された入力端子70aと、第2の速度制御回路10aに接続された入力端子70bと、第3の速度制御回路11aに接続された入力端子70cと、図示しない電流検出器に接続された入力端子70dと、入力端子70a, 70b, 70cに接続された加算器71と、この加算器71に接続された制限回路72と、この制限回路72に接続された係数器73と、入力端子70d及び係数器73に接続された減算器74と、この減算器74に接続された積分器75と、減算器74に接続された係数器76と、積分器75及び係数器76に接続された加算器77と、この加算器77に接続されたPWM回路78と、このPWM回路78に接続された出力端子79とから構成されている。

【0035】つぎに、実施例1の動作を説明する前に、この発明における直流電動機1aの回転角すなわち位置の制御方式の原理について説明する。まず、図1において

$$\omega_a = \frac{1}{J_s} \tau_2, \quad \theta_a = -\frac{1}{S} \omega_a \quad (1)$$

【0039】式(1)において、機械系模擬回路6aは、後述する第2のトルク信号 τ_2 を積分して模擬速度信号 ω_a を出力する積分器27と、この模擬速度信号 ω_a を積分して模擬回転角信号 θ_a を出力する積分器28とから構成される。すなわち、機械系模擬回路6aは、機械系のトルクに対する速度の伝達特性を、機械共振を無視した理想的な積分要素として近似した回路であり、式(1)におけるJは機械系全体の慣性モーメントを示している。

【0040】つぎに、この機械系模擬回路6aを制御対象として、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9と同様の構成の第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aをそれぞれ構成する。ここで、第2の速度制御回路10aから出力される第2のトルク信号 τ_2 が、機械系模擬回路6aに供給される。さらに、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aは、所望の応答周波数を持つようにゲインの値を設定する。そこで、第1の速度制御回路9から出力される第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10aから出力される第2のトルク信号 τ_2 を加算したトルク信号に追随す

10

12

*で、機械系模擬回路6a、第2の位置制御回路7、第2の速度制御回路10a及び第3の速度制御回路11aを省略した制御系について説明する。

【0036】この制御系は、上述したように速度制御ループをマイナープとする通常の位置制御系となる。さて、図1において、トルク伝達機構2の剛性が低い場合は、速度制御の応答を上げようとする第1の速度制御回路9のゲインを高くすると、機械共振によって大きな振動が生じることが知られている。このような場合は、マイナープである速度制御ループの応答周波数を上げることが困難であり、ひいては位置制御ループの応答周波数も上げることが困難である。すなわち、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9には、回転検出器4から出力された直流電動機1aの実回転角信号 θ_a 及び実速度信号 ω_a が入力される。このとき、これらの信号に機械共振による振動成分が含まれると、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9によってこれらの振動成分が増幅されるため、位置及び速度の応答周波数を上げられないものである。

【0037】この問題を解決するために、この発明のフィードフォワード型の制御を用いる。まず、直流電動機1a、トルク伝達機構2及び負荷機械3から構成される機械系を式(1)にしたがって2つの積分要素で近似した機械系模擬回路6aを導入する。

【0038】

【数1】

るよう、直流電動機1aの発生トルクを制御すると、機械共振による振動発生をさけるために第1の速度制御回路9の応答周波数を下げても、所望の応答周波数で直流電動機1aの速度を制御するのに必要なトルクは第2のトルク信号 τ_2 によって与えられるので、高速応答の速度制御が実現できる。すなわち、第2の速度制御回路10aは、実際の機械系の振動特性に左右されない機械系模擬回路6aから出力された模擬速度信号 ω_a に基づいて、フィードフォワード的に第2のトルク信号 τ_2 を出力する。

【0041】同様に、第1の位置制御回路5から出力された第1の速度信号 ω_1 と、第2の位置制御回路7から出力された第2の速度信号 ω_2 とを加算器8で加算した第3の速度信号 ω_3 を第1の速度制御回路9に供給することにより、位置制御の応答周波数も上げることができる。

【0042】このように、回転角指令信号 θ_{ss} の変化に対しては、機械系模擬回路6a、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aによって、フィードフォワード的な第2の速度信号 ω_2 及び第2のトルク信号 τ_2

50

13

² が出力されるので、位置制御の応答が改善できる。

【0043】一方、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合については、負荷トルクが変化しても機械系模擬回路6aから出力される模擬速度信号 ω_a 及び模擬回転角信号 θ_a は変化しない。そのため、負荷トルクの変化に対しては、機械系模擬回路6a、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aによって応答性を改善することができない。

【0044】そこで、さらに第3の速度制御回路11aを付加する。この第3の速度制御回路11aは、機械系模擬回路6aから出力された模擬速度信号 ω_a と回転検出器4から出力された実速度信号 ω_1 に基づいて、第3のトルク信号 τ_3 を出力する。負荷トルクが変化すると実速度信号 ω_1 が変化し、ひいては、第3のトルク信号 τ_3 も変化する。したがって、そこで、第1の速度制御回路9から出力された第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10aから出力された第2のトルク信号 τ_2 と、第3の速度制御回路11aから出力された第3のトルク信号 τ_3 を加算したトルク信号に追随するように、直流電動機1aの発生トルクを制御すると、負荷トルクの変化に対する位置制御の応答性も改善できる。

【0045】また、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9は、機械共振による振動を抑制したり、定常的な負荷トルクによる位置や速度の制御誤差を零にする働きをする。さらに、第3の速度制御回路11aは、機械系模擬回路6aの積分時定数すなわち慣性モーメントJが実際値と異なった場合の応答の変化を抑制する働きもある。以上がこの発明における位置制御方式の原理である。つづいて、実施例1の動作を図1～図8を参考しながら説明する。

【0046】まず、図2で示す第1の位置制御回路5において、第1の速度信号 ω_1 が係数器24によって出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から入力端子21を経由して入力された回転角指令信号 θ_{ss} と、回転検出器4から入力端子22を経由して入力された実回転角信号 θ_1 との第1の回転角偏差 $\Delta\theta_1$ ($=\theta_{ss} - \theta_1$) が減算器23によって求められ、係数器24に供給される。すると、係数器24によって第1の速度信号 ω_1 が求められ、出力端子25から出力される。

【0047】つづいて、図3で示す機械系模擬回路6aにおいて、模擬速度信号 ω_a が積分器27によって、模擬回転角信号 θ_a が積分器28によってそれぞれ出力される。すなわち、第2の速度制御回路10aから入力端子26を介して入力された第2のトルク信号 τ_2 を積分器27に供給すると、式(1)の演算が行われ、模擬速度信号 ω_a が求められる。そして、この模擬速度信号 ω_a は、出力端子29から出力される。一方、この模擬速度信号 ω_a を積分器28に供給すると、式(1)の演算によって、模擬回転角信号 θ_a が求められ、出力端子30から出力される。

10

14

【0048】つづいて、図4で示す第2の位置制御回路7において、第2の速度信号 ω_2 が係数器34によって出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から入力端子31を経由して入力された回転角指令信号 θ_{ss} と、機械系模擬回路6aから入力端子32を経由して入力された模擬回転角信号 θ_a との第2の回転角偏差 $\Delta\theta_2$ ($=\theta_{ss} - \theta_a$) が減算器33によって求められ、係数器34に供給される。すると、係数器34によって第2の速度信号 ω_2 が求められ、出力端子35から出力される。

【0049】つづいて、図1に示された加算器5によって、第1の位置制御回路5から出力された第1の速度信号 ω_1 と、第2の速度制御回路7から出力された第2の速度信号 ω_2 とが加算され、速度指令信号 ω_{ss} ($=\omega_1 + \omega_2$) として出力される。

【0050】つづいて、図5で示す第1の速度制御回路9において、第1のトルク信号 τ_1 が制限回路47によって出力される。すなわち、加算器8から入力端子41を経由して入力された第3の速度信号 ω_3 と、回転検出器4から入力端子42を経由して入力された実速度信号 ω_1 との第1の速度偏差信号 $\Delta\omega_1$ ($=\omega_{ss} - \omega_1$) が減算器43によって求められ、積分器44及び係数器45にそれぞれ供給される。すると、積分器44と係数器45の出力の和である第1のトルク信号 τ_1 が加算器46によって求められ、制限回路47を経て出力端子48から出力される。この制限回路47は第1のトルク信号 τ_1 の絶対値の最大値を制限する働きをする。

【0051】同様に、図6で示す第2の速度制御回路10aにおいて、第2のトルク信号 τ_2 が制限回路57によって出力される。すなわち、第2の位置制御回路7から入力端子51を経由して入力された第2の速度信号 ω_2 と、機械系模擬回路6aから入力端子52を経由して入力された模擬速度信号 ω_a との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ ($=\omega_2 - \omega_a$) が減算器53によって求められ、積分器54及び係数器55にそれぞれ供給される。すると、積分器54と係数器55の出力の和である第2のトルク信号 τ_2 が加算器56によって求められ、制限回路57を経て出力端子58から出力される。この制限回路57は、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値の最大値を制限する働きをする。

【0052】つづいて、図7で示す第3の速度制御回路11aにおいて、第3のトルク信号 τ_3 が加算器65によって出力される。すなわち、機械系模擬回路6aから入力端子60を経由して入力された模擬速度信号 ω_a と、回転検出器4から入力端子61を経由して入力された実速度信号 ω_1 との第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ ($=\omega_a - \omega_1$) が減算器62によって求められ、積分器63及び係数器64にそれぞれ供給される。すると、積分器63と係数器64の出力の和である第3のトルク信号 τ_3 が加算器65によって求められ、出力端子66から

20

30

40

50

出力される。

【0053】つづいて、図8で示すトルク制御回路12において、最終トルク信号 τ_m が加算器71によって出力される。すなわち、第1の速度制御回路9から入力端子70aを経由して入力された第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10aから入力端子70bを経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 と、第3の速度制御回路11aから入力端子70cを経由して入力された第3のトルク信号 τ_3 との和である最終トルク信号 τ_m ($= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$) が求められて、制限回路7*10

$$\tau_m = K_T \cdot I_a$$

【0056】したがって、係数が $1/K_T$ の係数器73によって最終トルク信号 τ_m が入力されると、電機子電流指令信号 I_{as} が求められる。

【0057】つづいて、電流偏差信号 ΔI ($= I_{as} - I_a$) が、減算器74によって出力される。すなわち、係数器73から出力された電機子電流指令信号 I_{as} と、図示しない電流検出器から入力端子70dを経由して入力された実際の電機子電流 I_a との差である電流偏差信号 ΔI が求められ、積分器75及び係数器76に供給される。

【0058】さらに、端子電圧指令信号 V_{as} が、加算器77によって出力される。すなわち、積分器75の出力と係数器76の出力の和である端子電圧指令信号 V_{as} が求められ、PWM回路78に供給される。

【0059】このPWM回路78は、端子電圧指令信号 V_{as} に基づいて、例えば、4象限チョッパ回路から構成された電力変換回路13の4つのスイッチング素子のオンオフ信号を出力する。なお、PWM回路78の構成などは公知であるので、詳細な説明を省略する。

【0060】そして、直流電動機1aの端子電圧 V_a が端子電圧指令信号 V_{as} に追随するように、電力変換回路13及びPWM回路78によって制御される。以上の説明から、直流電動機1aの発生トルク τ_m が、最終トルク信号 τ_m に追随するように、図8で示したトルク制御回路12及び電力変換回路13によって制御されことが理解される。

【0061】実施例2. つぎに、この発明の実施例2の構成を、図9～図13を参照しながら説明する。図9は、この発明の実施例2の全体を示すブロック図であり、直流電動機1a、トルク伝達機構2、負荷機械3、回転検出器4、第1の位置制御回路5、第2の位置制御回路7、加算器8、第1の速度制御回路9、トルク制御回路12、電力変換回路13及び回転角指令信号発生回路15は、上記実施例1のものと全く同一である。

【0062】図9において、この発明の実施例2は、上述した実施例1と全く同一のものと、機械系模擬回路6b、第2の速度制御回路10b、第3の速度制御回路11b及び修正回路14とから構成されている。実施例2における直流電動機1aのトルクの制御手段は、実施例

*2に供給される。この制限回路72は、最終トルク信号 τ_m の振幅を予め決められた設定値以下に制限する。

【0054】つづいて、電機子電流指令信号 I_{as} が、係数器73によって出力される。すなわち、公知のように、直流電動機1aの発生トルク τ_m と電機子電流 I_a との関係は式(2)で示される。なお、 K_T はトルク定数である。

【0055】

【数2】

(2)

1と同様に、トルク制御回路12と電力変換回路13とから構成されている。

【0063】図10は、上述した機械系模擬回路6bの詳細な構成を示すブロック図である。図10において、機械系模擬回路6bは、第2の速度制御回路10bに接続された入力端子80と、修正回路14に接続された入力端子81と、これら入力端子80, 81に接続された割算器82と、この割算器82に接続された積分器83と、この積分器83に接続された積分器84と、積分器83に接続された出力端子85と、積分器84に接続された出力端子86とから構成されている。

【0064】図11は、上述した第2の速度制御回路10bの詳細な構成を示すブロック図である。図11において、第2の速度制御回路10bは、修正回路14に接続された入力端子87, 90と、第2の位置制御回路7に接続された入力端子88と、機械系模擬回路6bに接続された入力端子89と、これら入力端子88, 89に接続された減算器91と、入力端子87及び減算器91に接続された乗算器92と、入力端子90と減算器91に接続された乗算器93と、この乗算器93に接続された積分器94と、乗算器92及び積分器94に接続された加算器95と、この加算器95に接続された制限回路96と、この制限回路96に接続された出力端子97とから構成されている。

【0065】図12は、上述した第3の速度制御回路11bの詳細な構成を示すブロック図である。図12において、第3の速度制御回路11bは、機械系模擬回路6bに接続された入力端子100と、回転検出器4に接続された入力端子101と、これら入力端子100, 101に接続された減算器102と、この減算器102に接続された積分器103と、減算器102に接続された係数器104と、積分器103及び係数器104に接続された加算器105と、係数器104に接続された出力端子106と、加算器105に接続された出力端子107とから構成されている。

【0066】図13は、上述した修正回路14の詳細な構成を示すブロック図である。図13において、修正回路14は、第3の速度制御回路11bに接続された入力端子110と、第2の速度制御回路10bに接続された

17

入力端子111と、この入力端子111に接続された極性判別回路112と、入力端子111及び極性判別回路112に接続された乗算器113と、この乗算器113に接続された積分器114と、定数設定器115と、積分器114及び定数設定器115に接続された加算器116と、この加算器116に接続された係数器117、118と、加算器116に接続された出力端子119と、係数器117に接続された出力端子120と、係数器118に接続された出力端子121とから構成されている。

【0067】つぎに、第2の速度制御回路10bのゲインK_{p2}及びK_{i2}の設定方法について、図14及び図15*

$$\frac{\omega_a}{\omega_2} = \frac{K_{p2}S + K_{i2}}{JS^2 + K_{p2}S + K_{i2}} \quad (3)$$

【0069】つぎに、図14の速度制御系の開ループ伝達関数($K_{p2} + K_{i2}/s$)・(1/J_s)を折れ線で近似したゲイン線図は、公知のように図15の実線のようになる。また、図15には、第2の速度制御回路10bの伝達関数($K_{p2} + K_{i2}/s$)及び機械系模擬回路6bの伝達関数(1/J_s)のゲイン線図も示されている。

図15において、 ω_{s_c} は図14の速度制御系の応答周波数である。また、 ω_{p1} で示された周波数を、ここではP※

$$K_{p2} = J \omega_{s_c}, \quad K_{i2} = \omega_{p1} K_{p2} = J \omega_{s_c} \omega_{p1} \quad (4)$$

【0071】式(4)から、慣性モーメントJが既知であれば、第2の速度制御回路10bのゲインK_{p2}及びK_{i2}の値を設定できることが理解される。なお、第1の速度制御回路9及び第3の速度制御回路11aのゲインも同様の方法で設定することができる。また、式(4)によつて、第2の速度制御回路10bのゲインK_{p2}及びK_{i2}の値が求められると、式(3)によつて第2の速度信号 ω_2 のステップ変化に対する模擬速度信号 ω_a の応答を求めることができる。実際には、この模擬速度信号 ω_a の応答のオーバーシュート量を所望の値に調節するために、P1折れ点周波数 ω_{p1} の値が決定されるが、通常の設計においては上述したように、P1折れ点周波数 ω_{p1} は応答周波数 ω_{s_c} の数分の1以下となるように設定される。

【0072】つぎに、この実施例2における機械系模擬回路6bの積分時定数Jを修正するための方法について図16を参照しながら説明する。まず、図9の実施例2において、第1の位置制御回路5のゲインK₁の値は、第2の位置制御回路7のゲインK₂の値と比較して小さいと仮定する。この場合は、第1の位置制御回路5から出力される第1の速度信号 ω_1 の振幅は、第2の位置制御回路7から出力される第2の速度信号 ω_2 の振幅に対して無視できるので、第1の速度制御回路9に入力される第3の速度信号 ω_3 は、第2の速度信号 ω_2 と一致するものとみなしてよい。すなわち、第1の速度制御回路

*を参照しながら説明する。まず、第2の速度制御回路10b及び機械系模擬回路6bから構成される速度制御系のブロック図は、図14のようになる。図14において、K_{p2}及びK_{i2}はそれぞれ、上述したように第2の速度制御回路10bの比例ゲイン及び積分ゲインである。また、Jは上述したように、機械系模擬回路6bの積分時定数すなわち慣性モーメントである。図14から、第2の速度信号 ω_2 に対する模擬速度信号 ω_a の伝達関数は、下記の式(3)で示される。

10 【0068】

【数3】

※I 折れ点周波数と呼ぶこととする。通常、このP1折れ点周波数 ω_{p1} は、応答周波数 ω_{s_c} の数分の1以下となるように設定される。このとき、 ω_{s_c} と ω_{p1} を設定値として、第2の速度制御回路10bのゲインK_{p2}及びK_{i2}はそれぞれ、下記の式(4)を用いて設定することができる。

20 【0070】

【数4】

9 及び第2の速度制御回路10bには、指令信号として、同じ第2の速度信号 ω_2 が与えられる。

【0073】この場合、機械系模擬回路6bの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントと異ると、第2の速度信号 ω_2 に対する実速度信号 ω_1 の応答と、模擬速度信号 ω_a の応答との間に偏差が生じ、第3の速度偏差信号 $\Delta \omega_3$ (= $\omega_1 - \omega_a$)が零でなくなる。

【0074】例えば、機械系模擬回路6bの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントより小さい場合は、図16(a)に示すように第2の速度信号 ω_2 の変化に対し、実速度信号 ω_1 の応答が模擬速度信号 ω_a の応答に対して遅れる。このとき、図16(a)からわかるように、第3の速度偏差信号 $\Delta \omega_3$ の極性は、加速中は正で減速中は負となる。反対に、機械系模擬回路6bの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントより大きい場合は、第2の速度信号 ω_2 の変化に対し、模擬速度信号 ω_a の応答が実速度信号 ω_1 の応答に対して遅れるので、第3の速度偏差信号 $\Delta \omega_3$ の極性は、加速中は負で減速中は正となる。したがって、第3の速度偏差信号 $\Delta \omega_3$ の絶対値の振幅が減少するように、機械系模擬回路6bの積分時定数Jの値を修正すればよいことがわかる。

【0075】ここで、第3の速度偏差信号 $\Delta \omega_3$ の極性は、加減速状態に応じて変化するが、図16(b)からわかるように、第2の速度制御回路10bから出力され

る第2のトルク信号 τ_2 の極性を判別することにより、加速中か減速中の判定ができる。すなわち、加速中は第2のトルク信号 τ_2 の極性は正となり、減速中は負となる。例えば、加速中すなわち τ_2 の極性が正のときに第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の極性が正であれば、機械系模擬回路6 bの積分時定数Jの値を増加させればよい。このようにして、機械系模擬回路6 bの積分時定数Jの値が修正されると、式(4)を用いて第2の速度制御回路10 bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値も、実際の機械系の慣性モーメントに応じて修正することが可能である。なお、上記の説明では、第1の位置制御回路5のゲイン K_1 が第2の位置制御回路7のゲイン K_2 と比較して小さい場合について説明したが、 K_1 の値が K_2 の値と同程度であっても、機械系模擬回路6 bの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントと異なると、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ は零でなくなるので、同様の方法によって、機械系模擬回路6 bの積分時定数Jの値、ひいては第2の速度制御回路10 bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値を修正することができる。

【0076】つぎに、実施例2の動作について、図9～図13を参照しながら説明する。ここで、機械系模擬回路6 b、第2の速度制御回路10 b、第3の速度制御回路11 b及び修正回路14以外の動作は、上述じた実施例1の動作と同一なので説明を省略する。

【0077】まず、図12で示す第3の速度制御回路11 bにおいて、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ が、減算器102によって出力される。すなわち、機械系模擬回路6 bから入力端子100を経由して入力された模擬速度信号 ω_3 と、回転検出器4から入力端子101を経由して入力された実速度信号 ω_3 との第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ (= $\omega_3 - \omega_3$)が求められ、積分器103及び係数器104に供給される。

【0078】つづいて、第3のトルク信号 τ_3 が、加算器105によって出力され、出力端子107から出力される。すなわち、積分器103の出力と、係数器104の出力との和が求められて、第3のトルク信号 τ_3 として出力端子107から出力される。また、係数器104から出力される第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ に振幅が比例したトルク信号 τ_{3p} が出力端子106から出力される。

【0079】つづいて、図13で示す修正回路14において、機械系模擬回路6 bの積分時定数すなわち慣性モーメントJが加算器106によって出力される。すなわち、第2の速度制御回路10 bから入力端子111を経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 が極性判別回路112に供給され、極性信号 S_g が出力される。ここで、極性信号 S_g の値は、 τ_2 の極性が正の場合は1、負の場合は-1とする。つづいて、この極性信号 S_g と第3の速度制御回路11 bから入力端子110を経由して入力されたトルク信号 τ_{3p} との積が乗算器113によって求められ、積分器114に供給される。さらに、こ

の積分器114から出力された慣性モーメントの補正值 ΔJ と、定数設定器115から出力された慣性モーメントの初期設定値 J_0 との和が求められ、慣性モーメントJとして出力端子119から出力される。このとき、慣性モーメントの初期設定値 J_0 として、例えば、直流電動機1aの慣性モーメントの値が用いられる。

【0080】さらに、第2の速度制御回路10 bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} が出力される。すなわち、慣性モーメントJを係数器117及び118にそれぞれ入力すると式(4)の演算により、第2の速度制御回路10 bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} が求められ、出力端子120及び121から出力される。

【0081】つづいて、図10で示す機械系模擬回路6 bにおいて、模擬速度信号 ω_1 が積分器83によって出力される。すなわち、第2の速度制御回路10 bから入力端子80を経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 と、修正回路14から入力端子81を経由して入力された慣性モーメントJとが割算器82に供給される。さらに、この割算器82の出力が積分器83に入力される。そして、積分器83において、第2のトルク信号 τ_2 の積分演算が行われ、模擬速度信号 ω_1 として出力端子85から出力される。すなわち、模擬速度信号 ω_1 は、積分時定数が慣性モーメントJに等しい積分器83に第2のトルク信号 τ_2 を入力することによって得られる。

【0082】つづいて、この模擬速度信号 ω_1 を、積分器84に入力すると、式(1)の演算によって模擬回転角信号 θ_1 が求められ、出力端子86から出力される。

【0083】つづいて、図11で示す第2の速度制御回路10 bにおいて、第2のトルク信号 τ_2 が制限回路96によって出力される。すなわち、第2の位置制御回路7から入力端子88を経由して入力された第2の速度信号 ω_2 と、機械系模擬回路6 bから入力端子89を経由して入力された模擬速度信号 ω_1 との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ (= $\omega_2 - \omega_1$)が減算器91によって求められる。つづいて、修正回路14から入力端子87を経由して入力された比例ゲイン K_{p2} と第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ との積が乗算器92によって求められる。さらに、修正回路14から入力端子90を経由して入力された積分ゲイン K_{i2} と第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ との積が乗算器93によって求められ、積分器94に供給される。つづいて、乗算器92の出力と積分器94の出力との和である第2のトルク信号 τ_2 が加算器95によって求められ、制限回路96を経て出力端子97から出力される。この制限回路96は、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値の振幅を制限する働きをする。

【0084】実施例3. 上述した実施例1及び2では、加算器8によって、第1の速度信号 ω_1 と第2の速度信号 ω_2 とを加算することにより第3の速度信号 ω_3 を求める場合について説明したが、第2の速度信号 ω_2 を係数値が0～1である係数器に入力することにより重み付

21

けした第2の速度信号と第1の速度信号 ω_1 の加算値として第3の速度信号を求めてよい。

【0085】実施例4. 図9で示された実施例2では、負荷機械3に負荷トルクが印加されると、直流電動機1aの速度が変化するため、回転検出器4から出力された実速度信号 ω_m も変化する。しかし、第2の速度制御回路10bには実速度信号 ω_m が入力されないため、第2の速度制御回路10bから出力された第2のトルク信号 τ_2 を入力する機械系模擬回路6bから出力される模擬速度信号 ω_a は変化しない。このため、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合は、模擬速度信号 ω_a と実速度信号 ω_m との差である第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の振幅が零でなくなるため、修正回路14において、機械系模擬回路6bの慣性モーメントすなわち積分時定数が間違って修正される場合がある。

【0086】このような場合は、第2のトルク信号 τ_2 の振幅に応じて修正回路14における慣性モーメントの修正を行うかどうかの判定を行うようにしてもよい。すなわち、第2のトルク信号 τ_2 は、回転角指令信号 θ_{ref} が変化した場合にのみ振幅が変化するので、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値が所定の値を越えたときにのみ慣性モーメントの修正を行うようにしてもよい。あるいは、第2の速度信号 ω_2 の絶対値が所定の値を越えたときにのみ慣性モーメントの修正を行うようにしてもよい。

【0087】上記のように修正回路14の動作を制御すると、加減速中においてのみ慣性モーメントの修正が行われることとなるが、通常の電動機の位置制御装置においては加減速中に負荷トルクが急に変化することはまれなので、このように修正回路14の構成を変えることにより、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合でも慣性モーメントは正しく修正され、ひいては、第2の速度制御回路のゲインも正しく修正される。

【0088】実施例5. なお、上述した実施例2～4においては、機械系模擬回路6bの慣性モーメントに応じて第2の速度制御回路10bのゲインのみ修正する場合について説明したが、第1の速度制御回路9あるいは第3の速度制御回路11bのゲインも同時に修正するようにもよい。

【0089】実施例6. また、上述した各実施例では、直流電動機1aを用いた場合を説明したが、誘導電動機や同期電動機を用いてよい。すなわち、公知のベクトル制御により、これらの交流電動機の発生トルクを直流電動機並の高速応答性でもって制御できるので、最終トルク信号 τ_m に追随するようにこれらの交流電動機の発生トルクを制御することは容易であり、初期の目的を達し得ることはいうまでもない。

【0090】実施例7. 以下、この発明の実施例6の構成を、図18～図20を参照しながら説明する。図18は、この発明の実施例6の全体を示すブロック図であり、機械系模擬回路6cとトルク制御回路12a以外は

22

実施例1と同様である。また、この発明における直流電動機1aのトルクの制御手段は、トルク制御回路12aと、電力変換回路13とから構成されている。

【0091】図19は、上述した機械系模擬回路6cの詳細な構成を示すブロック図である。図において、機械系模擬回路6cは、第2の速度制御回路10aに接続された入力端子124と、第3の速度制御回路11aに接続された入力端子125と、これら入力端子124, 125に接続された減算器126と、この減算器126に接続された積分器127と、この積分器127に接続された積分器128と、積分器127に接続された出力端子129と、積分器128に接続された出力端子130とから構成されている。

【0092】図20は、上述したトルク制御回路12aの詳細な構成を示すブロック図である。図において、トルク制御回路12aは、第1の速度制御回路9に接続された入力端子170aと、第2の速度制御回路10aに接続された入力端子170bと、図示しない電流検出器に接続された入力端子170cと、入力端子170a, 170bに接続された加算器171と、この加算器171に接続された制限回路172と、この制限回路172に接続された係数器173と、人力端子170c及び係数器173に接続された減算器174と、この減算器174に接続された積分器175と、減算器174に接続された係数器176と、積分器175及び係数器176に接続された加算器177と、この加算器177に接続されたPWM回路178と、このPWM回路178に接続された出力端子179とから構成されている。

【0093】つぎに、実施例1の動作を説明する前に、この発明における直流電動機1aの回転角すなわち位置の制御方式の原理について説明する。まず、図18において、機械系模擬回路6c、第2の位置制御回路7、第2の速度制御回路10a及び第3の速度制御回路11aを省略した制御系について説明する。

【0094】この制御系は、上述したように速度制御ループをマイナーループとする通常の位置制御系となる。さて、図18において、トルク伝達機構2の剛性が低い場合は、速度制御の応答を上げようとして第1の速度制御回路9のゲインを高くすると、機械共振によって大きな振動が生じることが知られている。このような場合は、マイナーループである速度制御ループの応答周波数を上げることが困難であり、ひいては位置制御ループの応答周波数も上げることが困難である。すなわち、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9には、回転検出器から出力された直流電動機1aの実回転角信号 θ_m 及び実速度信号 ω_m が入力される。このとき、これらの信号に機械共振による振動成分が含まれると、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9によってこれらの振動成分が増幅されるため、位置及び速度の応答周波数を上げることが困難となる。

【0095】この問題を解決するために、この発明ではフィードフォワード型の制御を用いる。まず、直流電動機1a、トルク伝達機構2及び負荷機械3から構成される機械系を式(1)にしたがって2つの積分要素で近似した機械系模擬回路6cを導入する。

【0096】式(1)において、機械系模擬回路6cは、後述する模擬トルク信号 τ_a を積分して模擬速度信号 ω_a を出力する積分器127と、この模擬速度信号 ω_a を積分して模擬回転角信号 θ_a を出力する積分器128とから構成される。すなわち、機械系模擬回路6cは、機械系のトルクに対する速度の伝達特性を、機械共振を無視した理想的な積分要素として近似した回路であり、式(1)におけるJは機械系全体の慣性モーメントを示している。

【0097】つぎに、この機械系模擬回路6cを制御対象として、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9と同様の構成の第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aをそれぞれ構成する。ここで、第2の速度制御回路10aから出力される第2のトルク信号 τ_2 が上記の模擬トルク信号 τ_a として、機械系模擬回路6cに供給される。さらに、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aは、所望の応答周波数を持つようにゲインの値を設定する。そこで、第1の速度制御回路9から出力される第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10aから出力される第2のトルク信号 τ_2 を加算したトルク信号に追随するように、直流電動機1aの発生トルクを制御すると、機械共振による振動発生をさけるために第1の速度制御回路9の応答周波数を下げても、所望の応答周波数で直流電動機1aの速度を制御するに必要なトルクは第2のトルク信号 τ_2 によって与えられるので、高速応答の速度制御が実現できる。すなわち、第2の速度制御回路10aは、実際の機械系の振動特性に左右されない機械系模擬回路6cから出力された模擬速度信号 ω_a に基づいて、フィードフォワード的に第2のトルク信号 τ_2 を出力する。

【0098】同様に、第1の位置制御回路5から出力さ*

$$\frac{\tau_2}{\tau_3} = \frac{K_{\tau_2}S + K_{\tau_2}}{JS^2 + K_{\tau_2}S + K_{\tau_2}} \quad (5)$$

【0103】式(5)から、第3のトルク信号 τ_3 が変化すると第2のトルク信号 τ_2 も変化することがわかる。したがって、第1の速度制御回路9から出力された第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10aから出力された第2のトルク信号 τ_2 を加算したトルク信号に追随するように、直流電動機1aの発生トルクを制御すると、負荷トルクの変化に対する位置制御の応答性も改善できることがわかる。さらに、式(5)で示された第3のトルク信号 τ_3 に対する第2のトルク信号 τ_2 の伝達関数は2次の低域通過型フィルタ(ローパスフィルタ)特性を持っているので、直流電動機1aの実速度

40 40 信号 ω_a に含まれる機械共振に起因する振動成分が第3の速度制御回路11aによって増幅され、第3のトルク信号 τ_3 に振動成分が含まれてもこのローパスフィルタ特性によって、第2のトルク信号 τ_2 の振動成分は除去される。そのため、第2の速度制御回路10aのゲインを高くすことができ、ひいては、高速応答の位置制御を実現できる。

【0104】また、第1の位置制御回路5及び第1の速度制御回路9は、機械共振による振動を抑制したり、定常的な負荷トルクによる位置や速度の制御誤差を零にする働きをする。さらに、第3の速度制御回路11aは、

*れた第1の速度信号 ω_1 と、第2の位置制御回路7から出力された第2の速度信号 ω_2 とを加算器8で加算した第3の速度信号 ω_3 を第1の速度制御回路9に供給することにより、位置制御の応答周波数も上げることができ。すなわち、第2の速度信号 ω_2 は、図17に示された従来装置におけるフィードフォワード速度信号 ω_{ff2} と同様の働きをする。

【0099】このように、回転角指令信号 ω_{ref} の変化に対する、機械系模擬回路6c、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aによって、フィードフォワード的な第2の速度信号 ω_2 及び第2のトルク信号 τ_2 が出力されるので、位置制御の応答が改善できる。

【0100】一方、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合については、負荷トルクが変化しても機械系模擬回路6cから出力される模擬速度信号 ω_a 及び模擬回転角信号 θ_a は変化しない。そのため、負荷トルクの変化に対しては、機械系模擬回路6c、第2の位置制御回路7及び第2の速度制御回路10aによって応答性を改善することができない。

【0101】そこで、さらに第3の速度制御回路11aを付加する。この第3の速度制御回路11aは、機械系模擬回路6cから出力された模擬速度信号 ω_a と回転検出器4から出力された実速度信号 ω_r に基づいて、第3のトルク信号 τ_3 を出力する。負荷トルクが変化すると実速度信号 ω_r が変化し、ひいては、第3のトルク信号 τ_3 も変化する。ここで、機械系模擬回路6c及び第2の速度制御回路10aによって構成される速度制御系のブロック図は、図21のようになる。図21において、機械系模擬回路6cに入力される模擬トルク信号 τ_a は、第2のトルク信号 τ_2 と第3のトルク信号 τ_3 との偏差($\tau_2 - \tau_3$)として与えられる。つぎに図21から第3のトルク信号 τ_3 に対する第2のトルク信号 τ_2 の伝達関数を求める下記の式(5)となる。

【0102】

【数5】

機械系模擬回路6 cの積分時定数すなわち慣性モーメントJが実際値と異なった場合の応答の変化を抑制する働きもする。以上がこの発明における位置制御方式の原理である。つづいて、実施例6の動作を図18～図20を参照しながら説明する。実施例1と同一部分は説明を省略する。

【0105】図19で示す機械系模擬回路6 cにおいて、模擬速度信号 ω_a が積分器127によって、模擬回転角信号 θ_a が積分器128によってそれぞれ出力される。すなわち、第2の速度制御回路10 aから入力端子124を介して入力された第2のトルク信号 τ_2 と、第3の速度制御回路11 aから入力端子125を経由して入力された第3のトルク信号 τ_3 を減算器126に入力すると模擬トルク信号 τ_a が求められる。つぎに、この模擬トルク信号 τ_a を積分器127に供給すると、式(1)の演算が行われ、模擬速度信号 ω_a が求められる。そして、この模擬速度信号 ω_a は、出力端子129から出力される。一方、この模擬速度信号 ω_a を積分器128に供給すると、式(1)の演算によって、模擬回転角信号 θ_a が求められ、出力端子130から出力される。

【0106】同様に、図6で示す第2の速度制御回路10 aにおいて、第2のトルク信号 τ_2 が制限回路57によって出力される。すなわち、第2の位置制御回路7から入力端子51を経由して入力された第2の速度信号 ω_2 と、機械系模擬回路6 cから入力端子52を経由して入力された模擬速度信号 ω_a との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ (= $\omega_2 - \omega_a$)が減算器53によって求められ、積分器54及び係数器55にそれぞれ供給される。すると、積分器54と係数器55の出力の和である第2のトルク信号 τ_2 が加算器56によって求められ、制限回路57を経て出力端子58から出力される。この制限回路57は、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値の最大値を制限する働きをする。

【0107】つづいて、図7で示す第3の速度制御回路11 aにおいて、第3のトルク信号 τ_3 が加算器65によって出力される。すなわち、機械系模擬回路6 cから入力端子60を経由して入力された模擬速度信号 ω_a と、回転検出器4から入力端子61を経由して入力された実速度信号 ω_b との第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ (= $\omega_b - \omega_a$)が減算器62によって求められ、積分器63及び係数器64にそれぞれ供給される。すると、積分器63と係数器64の出力の和である第3のトルク信号 τ_3 が加算器65によって求められ、出力端子66から出力される。

【0108】つづいて、図20で示すトルク制御回路12 aにおいて、最終トルク信号 τ_{ss} が加算器171によって出力される。すなわち、第1の速度制御回路9から入力端子170 aを経由して入力された第1のトルク信号 τ_1 と、第2の速度制御回路10 aから入力端子17

0 bを経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 との和である最終トルク信号 τ_{ss} (= $\tau_1 + \tau_2$)が求められて、制限回路172に供給される。この制限回路172は、最終トルク信号 τ_{ss} の振幅を予め決められた設定値以下に制限する。

【0109】つづいて、電機子電流指令信号 I_{ss} が、係數器173によって出力される。すなわち、公知のように、直流電動機1 aの発生トルク τ_b と電機子電流 I_b との関係は式(2)で示される。なお、 K_t はトルク定数である。したがって、係数が $1/K_t$ の係數器173に最終トルク信号 τ_{ss} が入力されると、電機子電流指令信号 I_{ss} が求められる。

【0110】つづいて、電流偏差信号 ΔI (= $I_{ss} - I_b$)が、減算器174によって出力される。すなわち、係數器173から出力された電機子電流指令信号 I_{ss} と、図示しない電流検出器から入力端子170 cを経由して入力された実際の電機子電流 I_b との差である電流偏差信号 ΔI が求められ、積分器175及び係數器176に供給される。

【0111】さらに、端子電圧指令信号 V_{ss} が、加算器177によって出力される。すなわち、積分器175の出力と係數器176の出力の和である端子電圧指令信号 V_{ss} が求められ、PWM回路178に供給される。

【0112】このPWM回路178は、端子電圧指令信号 V_{ss} に基づいて、例えば、4象限チョッパ回路から構成された電力変換回路13の4つのスイッチング素子のオンオフ信号を出力する。なお、PWM回路178の構成などは公知であるので、詳細な説明を省略する。

【0113】そして、直流電動機1 aの端子電圧 V_b が端子電圧指令信号 V_{ss} に追随するように、電力変換回路13及びPWM回路178によって制御される。以上の説明から、直流電動機1 aの発生トルク τ_b が、最終トルク信号 τ_{ss} に追随するように、図20で示したトルク制御回路12 a及び電力変換回路13によって制御されることが理解される。

【0114】実施例7. つぎに、この発明の実施例7の構成を、図22～図23を参照しながら説明する。図22は、実施例2の全体を示すブロック図であり、機械系模擬回路6 d以外は上記各実施例と同様である。

【0115】図23は、上述した機械系模擬回路6 dの詳細な構成を示すブロック図である。図23において、機械系模擬回路6 dは、第2の速度制御回路10 bに接続された入力端子180 aと、第3の速度制御回路11 bに接続された入力端子180 bと、修正回路14に接続された入力端子180 cと、入力端子180 a、180 bに接続された減算器181と、減算器181及び入力端子180 cに接続された割算器182と、この割算器182に接続された積分器183と、この積分器183に接続された積分器184と、積分器184に接続された出力端子185と、積分器184に接続された出力

端子186とから構成されている。

【0116】図11は、上述した第2の速度制御回路10bの詳細な構成を示すブロック図である。図11において、第2の速度制御回路10bは、修正回路14に接続された入力端子87, 90と、第2の位置制御回路7に接続された入力端子88と、機械系模擬回路6dに接続された入力端子89と、これら入力端子88, 89に接続された減算器91と、入力端子87及び減算器91に接続された乗算器93と、この乗算器93に接続された積分器94と、乗算器92及び積分器94に接続された加算器95と、この加算器95に接続された制限回路96と、この制限回路96に接続された出力端子97とから構成されている。

【0117】図12は、上述した第3の速度制御回路11bの詳細な構成を示すブロック図である。図12において、第3の速度制御回路11bは、機械系模擬回路6dに接続された入力端子100と、回転検出器4に接続された入力端子101と、これら入力端子100, 101に接続された減算器102と、この減算器102に接続された積分器103と、減算器102に接続された係数器104と、積分器103及び係数器104に接続された加算器105と、係数器104に接続された出力端子106と、加算器105に接続された出力端子107とから構成されている。

【0118】つぎに、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の設定方法について、図21及び図15を参照しながら説明する。まず、上述したように図21は、第2の速度制御回路10b及び機械系模擬回路6dから構成される速度制御系のブロック図である。図21において、 K_{p2} 及び K_{i2} はそれぞれ、上述したように第2の速度制御回路10bの比例ゲイン及び積分ゲインである。また、Jは上述したように、機械系模擬回路6dの積分時定数すなわち慣性モーメントである。図21から、第2の速度信号 ω_2 に対する模擬速度信号 ω_3 の伝達関数は、式(3)で示される。

【0119】つぎに、図21の速度制御系の開ループ伝達関数 $(K_{p2} + K_{i2}/s) \cdot (1/J_s)$ を折れ線で近似したゲイン線図は、公知のように図15の実線のようになる。また、図15には、第2の速度制御回路10bの伝達関数 $(K_{p2} + K_{i2}/s)$ 及び機械系模擬回路6dの伝達関数 $(1/J_s)$ のゲイン線図も示されている。図15において、 ω_{sc} は図21の速度制御系の応答周波数である。また、 ω_{p1} で示された周波数を、ここではPI折れ点周波数と呼ぶこととする。通常、このPI折れ点周波数 ω_{p1} は、応答周波数 ω_{sc} の数分の1以下となるように設定される。このとき、 ω_{sc} と ω_{p1} を設定値として、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} はそれぞれ、式(4)を用いて設定することができる。

【0120】式(4)から、慣性モーメントJが既知で

あれば、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値を設定できることが理解される。なお、第1の速度制御回路9及び第3の速度制御回路11bのゲインも同様の方法で設定することができる。また、式(4)によって、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値が求められると、式(3)によって第2の速度信号 ω_2 のステップ変化に対する模擬速度信号 ω_3 の応答を求めることができる。実際には、この模擬速度信号 ω_3 の応答のオーバーシュート量を所望の値に調節するために、PI折れ点周波数 ω_{p1} の値が決定されるが、通常の設計においては上述したように、PI折れ点周波数 ω_{p1} は応答周波数 ω_{sc} の数分の1以下となるように設定される。

【0121】つぎに、この実施例2における機械系模擬回路6dの積分時定数Jを修正するための方法について図16を参照しながら説明する。まず、図22の実施例2において、第1の位置制御回路5のゲイン K_1 の値は、第2の位置制御回路7のゲイン K_2 の値と比較して小さいと仮定する。この場合は、第1の位置制御回路5から出力される第1の速度信号 ω_1 の振幅は、第2の位置制御回路7から出力される第2の速度信号 ω_2 の振幅に対して無視できるので、第1の速度制御回路9に入力される第3の速度信号 ω_3 は、第2の速度信号 ω_2 と一致するものとみなしてよい。すなわち、第1の速度制御回路9及び第2の速度制御回路10bには、指令信号として、同じ第2の速度信号 ω_2 が与えられる。さらに、第3の速度制御回路11bのゲインは、第2の速度制御回路10bのゲインと比較して小さいと仮定する。

【0122】この場合、機械系模擬回路6dの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントと異ると、第2の速度信号 ω_2 に対する実速度信号 ω_1 の応答と、模擬速度信号 ω_3 の応答との間に偏差が生じ、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ (= $\omega_1 - \omega_3$)が零でなくなる。

【0123】例えば、機械系模擬回路6dの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントより小さい場合は、図16(a)に示すように第2の速度信号 ω_2 の変化に対し、実速度信号 ω_1 の応答が模擬速度信号 ω_3 の応答に対して遅れる。このとき、図16(a)からわかるように、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の極性は、加速中は正で減速中は負となる。反対に、機械系模擬回路6dの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントより大きい場合は、第2の速度信号 ω_2 の変化に対し、模擬速度信号 ω_3 の応答が実速度信号 ω_1 の応答に対して遅れるので、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の極性は、加速中は負で減速中は正となる。したがって、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の絶対値の振幅が減少するように、機械系模擬回路6dの積分時定数Jの値を修正すればよいことがわかる。

【0124】ここで、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の極性は、加減速状態に応じて変化するが、図16(b)から

わかるように、第2の速度制御回路10bから出力される第2のトルク信号 τ_2 の極性を判別することにより、加速中か減速中かの判定ができる。すなわち、加速中は第2のトルク信号 τ_2 の極性は正となり、減速中は負となる。例えば、加速中すなわち τ_2 の極性が正のときに第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の極性が正であれば、機械系模擬回路6dの積分時定数Jの値を増加させればよい。このようにして、機械系模擬回路6dの積分時定数Jの値が修正されると、式(4)を用いて第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値も、実際の機械系の慣性モーメントに応じて修正することが可能である。なお、上記の説明では、第1の位置制御回路5のゲイン K_1 が第2の位置制御回路7のゲイン K_2 と比較して小さい場合について説明したが、 K_1 の値が K_2 の値と同程度であっても、機械系模擬回路6dの積分時定数Jが実際の機械系の慣性モーメントと異ると、第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ は零でなくなるので、同様の方法によって、機械系模擬回路6dの積分時定数Jの値、ひいては第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} の値を修正することができる。

【0125】つぎに、実施例2の動作について説明する。ここで、機械系模擬回路6d、第2の速度制御回路10b、第3の速度制御回路11b及び修正回路14以外の動作は、上述した実施例6の動作と同一なので説明を省略する。

【0126】図13で示す修正回路14において、機械系模擬回路6dの積分時定数すなわち慣性モーメントJが加算器116によって出力される。すなわち、第2の速度制御回路10bから入力端子111を経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 が極性判別回路112に供給され、極性信号 S_g が出力される。ここで、極性信号 S_g の値は、 τ_2 の極性が正の場合は1、負の場合は-1とする。つづいて、この極性信号 S_g と第3の速度制御回路11bから入力端子110を経由して入力されたトルク信号 τ_3 との積が乗算器113によって求められ、積分器114に供給される。さらに、この積分器114から出力された慣性モーメントの補正值 ΔJ と、定数設定器115から出力された慣性モーメントの初期設定値 J_0 との和が加算器116によって求められ、慣性モーメントJとして出力端子119から出力される。このとき、慣性モーメントの初期設定値 J_0 として、例えば、直流電動機1aの慣性モーメントの値が用いられる。

【0127】さらに、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} が出力される。すなわち、慣性モーメントJを係数器117及び118にそれぞれ入力すると式(4)の演算により、第2の速度制御回路10bのゲイン K_{p2} 及び K_{i2} が求められ、出力端子120及び121から出力される。

【0128】つづいて、図23で示す機械系模擬回路6

dにおいて、模擬速度信号 ω_3 が積分器183によって出力される。すなわち、第2の速度制御回路10bから入力端子180aを経由して入力された第2のトルク信号 τ_2 と、第3の速度制御回路11bから入力端子180bを経由して入力された第3のトルク信号 τ_3 との偏差信号である模擬トルク信号 τ_a が減算器181によって求められる。つづいて、この模擬トルク信号 τ_a と、修正回路14から入力端子180cを経由して入力された慣性モーメントJとが割算器182に供給される。さらに、この割算器182の出力が積分器183に入力される。そして、積分器183において、模擬トルク信号 τ_a の積分演算が行われ、模擬速度信号 ω_3 として出力端子185から出力される。すなわち、模擬速度信号 ω_3 は、積分時定数が慣性モーメントJに等しい積分器に模擬トルク信号 τ_a を入力することによって得られる。

【0129】つづいて、この模擬速度信号 ω_3 を、積分器184に入力すると、式(1)の演算によって模擬回転角信号 θ_3 が求められ、出力端子186から出力される。

【0130】つぎに、図11で示す第2の速度制御回路10bにおいて、第2のトルク信号 τ_2 が制限回路96によって出力される。すなわち、第2の位置制御回路7から入力端子88を経由して入力された第2の速度信号 ω_2 と、機械系模擬回路6dから入力端子89を経由して入力された模擬速度信号 ω_3 との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ (= $\omega_2 - \omega_3$)が減算器91によって求められる。つづいて、修正回路14から入力端子87を経由して入力された比例ゲイン K_{p2} と第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ との積が乗算器92によって求められる。さらに、修正回路14から入力端子90を経由して入力された積分ゲイン K_{i2} と第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ との積が乗算器93によって求められ、積分器94に供給される。つづいて、乗算器92の出力と積分器94の出力との和である第2のトルク信号 τ_2 が加算器95によって求められ、制限回路96を経て出力端子97から出力される。この制限回路96は、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値の振幅を制限する働きをする。

【0131】実施例8。上述した実施例6及び7では、加算器8によって、第1の速度信号 ω_1 と第2の速度信号 ω_2 とを加算することにより第3の速度信号 ω_3 を求める場合について説明したが、第2の速度信号 ω_2 を係数値が0~1である係数器に入力することにより重み付けした第2の速度信号と第1の速度信号 ω_1 の加算値として第3の速度信号 ω_3 を求めてよい。

【0132】実施例9。図22で示された実施例2では、負荷機械3に負荷トルクが印加されると、直流電動機1aの速度が変化するため、回転検出器4から出力された実速度信号 ω_3 も変化する。しかし、第2の速度制御回路10bには実速度信号 ω_3 が入力されないため、第2の速度制御回路10bから出力された第2のトルク

31

信号 τ_2 を入力する機械系模擬回路6 bから出力される模擬速度信号 ω_a は変化しない。このため、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合は、模擬速度信号 ω_a と実速度信号 ω_a との差である第3の速度偏差信号 $\Delta\omega_3$ の振幅が零でなくなるため、修正回路14において、機械系模擬回路6 dの慣性モーメントすなわち積分時定数が違つて修正される場合がある。

【0133】このような場合は、第2のトルク信号 τ_2 の振幅に応じて修正回路14における慣性モーメントの修正を行うかどうかの判定を行うようにしてもよい。すなわち、第2のトルク信号 τ_2 は、回転角指令信号 θ_{as} が変化した場合にのみ振幅が変化するので、第2のトルク信号 τ_2 の絶対値が所定の値を越えたときにのみ慣性モーメントの修正を行うようにしてもよい。あるいは、第2の速度信号 ω_2 の絶対値が所定の値を越えたときにのみ慣性モーメントの修正を行うようにしてもよい。

【0134】上記のように修正回路14の動作を制御すると、加減速中においてのみ慣性モーメントの修正が行われることとなるが、通常の電動機の位置制御装置においては加減速中に負荷トルクが急に変化することはまれなので、このように修正回路14の構成を変えることにより、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合でも慣性モーメントは正しく修正され、ひいては、第2の速度制御回路のゲインも正しく修正される。

【0135】実施例10. なお、上述した実施例7~9においては、機械系模擬回路6 dの慣性モーメントに応じて第2の速度制御回路10 bのゲインのみ修正する場合について説明したが、第1の速度制御回路9あるいは第3の速度制御回路11 bのゲインも同時に修正するようにもよい。

【0136】実施例11. また、上述した各実施例では、直流電動機1 aを用いた場合を説明したが、誘導電動機や同期電動機を用いてもよい。すなわち、公知のベクトル制御により、これらの交流電動機の発生トルクを直流電動機並の高速応答性でもって制御できるので、最終トルク信号 τ_{as} に追随するようにこれらの交流電動機の発生トルクを制御することは容易であり、初期の目的を達し得ることはいうまでもない。

【0137】実施例12. 以下、この発明の実施例12の構成を、図24~図28を参照しながら説明する。図24は実施例12の全体を示すブロック図であり、フィードフォワード信号演算回路194と、位置制御回路196と、速度制御回路197と、トルク制御回路198以外は前述と同様である。

【0138】図25は、上述したフィードフォワード信号演算回路194の詳細な構成を示すブロック図である。図において、フィードフォワード信号演算回路194は、回転角指令信号発生回路15に接続された入力端子220と、この入力端子220に接続された減算器221と、この減算器221に接続された係数器222と

32

と、この係数器222に接続された減算器223と、この減算器223に接続された係数器224と、係数器224に接続された制限回路225と、制限回路225に接続された積分器226と、この積分器226に接続された積分器227と、制限回路225に接続された出力端子228と、積分器226に接続された出力端子229と、積分器227に接続された出力端子230とから構成されている。

【0139】図26は、上述した位置制御回路196の詳細な構成を示すブロック図である。図において、位置制御回路196は、フィードフォワード信号演算回路194に接続された入力端子231と、回転検出器4に接続された入力端子232と、これら入力端子231, 232に接続された減算器233と、この減算器233に接続された係数器234と、この係数器234に接続された出力端子235とから構成されている。

【0140】図27は、上述した速度制御回路197の詳細な構成を示すブロック図である。図において、速度制御回路197は、フィードフォワード信号演算回路194に接続された入力端子236と、位置制御回路196に接続された入力端子237と、これら入力端子236, 237に接続された加算器238と、回転検出器4に接続された入力端子239と、加算器238及び入力端子239に接続された減算器240と、この減算器240に接続された積分器241と、減算器240に接続された係数器242と、積分器241及び係数器242に接続された加算器243と、この加算器243に接続された出力端子244とから構成されている。

【0141】図28は、上述したトルク制御回路198の詳細な構成を示すブロック図である。図において、トルク制御回路198は、フィードフォワード信号演算回路194に接続された入力端子246と、速度制御回路197に接続された人力端子247と、図示しない電流検出器に接続された入力端子248と、入力端子246, 247に接続された加算器249と、この加算器249に接続された制限回路250と、この制限回路250に接続された係数器251と、人力端子248及び係数器251に接続された減算器252と、この減算器252に接続された積分器253と、減算器252に接続された係数器254と、積分器253及び係数器254に接続された加算器255と、この加算器255に接続されたPWM回路256と、このPWM回路256に接続された出力端子257とから構成されている。

【0142】つぎに、実施例12の動作を説明する前に、この発明における直列電動機1 aの回転角すなわち位置の制御方式の原理について説明する。まず、図24において、フィードフォワード信号演算回路194を省略し、位置制御回路196にフィードフォワード信号演算回路194から出力された模擬回転角信号 θ_a の代りに回転角指令信号発生回路15から出力された回転角指

令信号 θ_{ss} を入力した制御系の動作を説明する。さらに、この制御系では、位置制御回路 196 は回転角指令信号 θ_{ss} と実回転角信号 θ_s との偏差信号を増幅して第 1 の速度信号 ω_1 を出力し、速度制御回路 197 はこの第 1 の速度信号 ω_1 と実速度信号 ω_s との偏差信号を増幅して第 1 のトルク信号 τ_1 を出力し、トルク制御回路 198 及び電力変換回路 13 は直流電動機 1a の発生トルク τ_a がこの第 1 のトルク信号 τ_1 に追随するように制御するものとする。

【0143】この場合、この制御系は、上述したように速度制御ループをマイナループとする通常の位置制御系となる。さて、図 12において、トルク伝達機構 2 の剛性が低い場合は、速度制御の応答を上げようとして速度制御回路 197 のゲインを高くすると、機械共振によって大きな振動が生じることが知られている。このような場合は、マイナループである速度制御ループの応答周波*

$$\omega_s = \frac{1}{JS} \tau_s, \quad \theta_s = \frac{1}{S} \omega_s \quad (6)$$

【0146】式(6)において、機械系模擬回路 194a は、後述する模擬トルク信号 τ_a を積分して模擬速度信号 ω_a を出力する第 1 の積分器 226 と、この模擬速度信号 ω_a を積分して模擬回転角信号 θ_a を出力する第 2 の積分器 227 とから構成される。すなわち、実際の機械系は機械共振を発生する高次の振動特性やギアのガタなどのような非線形な伝達特性を有しているが、機械系模擬回路 194a は、これらの振動特性や非線形特性を全て無視し、機械系のトルクに対する速度の伝達特性及び機械系の速度に対する回転角の伝達特性をそれぞれ、理想的な積分要素として近似した回路であり、式(6)における J は直流電動機 1a、トルク伝達機構 2 及び負荷機械 3 の慣性モーメントを合わせた機械系全体の慣性モーメントを示している。

【0147】つぎに、図 29 に示すように、この機械系模擬回路 194a を制御対象として、模擬位置制御回路 194c 及び模擬速度制御回路 194b をそれぞれ構成する。ここで、模擬速度制御回路 194b から出力される模擬トルク信号 τ_a が機械系模擬回路 194a に供給される。さらに、模擬位置制御回路 194c 及び模擬速度制御回路 194b は、以下のような方法で、それぞれ所望の応答周波数を持つようにゲインの値を設定する。まず、図 29 から、模擬位置制御回路 194c から出力された模擬速度指令信号 ω_{ss} に対する模擬速度信号 ω_s の伝達関数 $G_s(s)$ は、下記の式(7)に示すような一次遅れの伝達関数となる。

【0148】
【数 7】

$$G_s(s) = \frac{\omega_s}{\omega_{ss}} = \frac{1}{1 + T_{sc}s} \quad (7)$$

但し、 $T_{sc} = J/K_{sa}$

【0149】ここで、模擬速度指令信号 ω_{ss} に対する模擬速度信号 ω_s の応答周波数を ω_{sc} とすると、式(7)において、時定数 T_{sc} は公知のように応答周波数 ω_{sc} の逆数となるので、応答周波数 ω_{sc} を与えると下記の式★

$$K_{sa} = J \omega_{sc} \quad (8)$$

$$\text{但し、 } \omega_{sc} = \frac{1}{T_{sc}}$$

【0151】つぎに、模擬速度制御ループの応答周波数 ω_{sc} は、模擬位置制御ループの応答周波数 ω_{sp} と比較して数倍以上高いものとする。このとき、模擬位置制御回

★(8) を用いて模擬速度制御回路 194b のゲイン K_{sa} の値を決定することができる。

【0150】
【数 8】

路 194c のゲイン K_{sa} の設定時には、式(7)の時定数 T_{sc} の値は零、すなわち、常に $\omega_{sc} = \omega_s$ の条件が成立するとみなしてもよい。したがって、回転角指令信号

35

ω_{ss} に対する模擬回転角信号 θ_a の伝達関数 $G_p(s)$ は、下記の式(9)に示すような一次遅れの伝達関数として近似できる。

$$G_p(s) = \frac{\theta_a}{\theta_{ss}} = \frac{1}{1 + T_{pe} s} \quad * \quad (9)$$

但し、 $T_{pe} = 1 / K_{pe}$

【0153】式(9)から、模擬位置制御回路194cのゲイン K_{pe} は、上述した模擬速度制御回路194bの10【0154】ゲイン K_{ss} と同様に、下記の式(10)を用いて決定す※【数10】

$$K_{pe} = \omega_{pe} \quad (10)$$

$$\text{但し、 } \omega_{pe} = \frac{1}{T_{se}}$$

【0155】ここで、模擬位置制御回路194c及び模擬速度制御回路194bはともに、機械系模擬回路194aを制御対象としており、直流電動機1aの実回転角信号 θ_a や実速度信号 ω_a が入力されないので、回転角指令信号 θ_{ss} の変化に対し所望の過渡応答特性を持つよう式(8)及び式(10)を用いてゲインの値を決定することができる。そこで、このように設計された模擬速度制御回路194bから出力される模擬トルク信号 τ_a に、直流電動機1aの発生トルク τ_a が追隨するように制御すれば、直流電動機1aの速度及び回転角をそれぞれ、模擬速度制御ループ及び模擬位置制御ループと同じ応答性もって制御することができる。

【0156】しかしながら、直流電動機1a、トルク伝達機構2及び負荷機械3から構成される実際の機械系の慣性モーメントの値と、機械系模擬回路194a中の第1の積分器226の積分時定数、すなわち、慣性モーメントJの値とが異った場合や、実際の機械系に負荷トルク τ_L が印加されるような場合は、機械系模擬回路194aの応答と実際の機械系の応答とが一致しなくなるため、直流電動機1aの発生トルク τ_a を模擬トルク信号 τ_a に追隨するように制御するだけでは、直流電動機1aの速度及び回転角をそれぞれ、模擬速度制御ループ及び模擬位置制御ループと同じ応答性もって制御することができない。さらに、トルク伝達機構2の剛性が低い場合には、模擬速度制御回路194bや模擬位置制御回路194cのゲインを上げすぎると、機械共振による振動が生じる恐れがある。

【0157】そこで、これらの問題を解決するために、図24に示すように、位置制御回路196によって、模擬回転角信号 θ_a と実回転角信号 θ_a の回転角偏差信号を增幅して第1の速度信号 ω_1 を求める。さらに、速度制御回路197において、この第1の速度信号 ω_1 と模擬速度信号 ω_a を加算して得られた第2の速度信号 ω_2 と実速度信号 ω_a の速度偏差信号を增幅して第1

20 のトルク信号 τ_1 を求める。そして最後に、トルク制御回路198及び電力変換回路13によって、この第1のトルク信号 τ_1 と模擬トルク信号 τ_a とを加算して得られた最終トルク指令信号 τ_{ss} に直流電動機1aの発生トルク τ_a が追隨するように制御する。この結果、上記の機械系模擬回路194aと実際の機械系の応答特性の相違による影響が軽減され、直流電動機1aの速度及び回転角をそれぞれ、模擬速度制御ループ及び模擬位置制御ループと同じ応答性もって制御することができる。

【0158】以上がこの発明における位置制御方式の原理である。つづいて、実施例1の動作を図24～図28を参照しながら説明する。まず、図25で示すフィードフォワード信号演算回路194によって、模擬回転角信号 θ_a 、模擬速度信号 ω_a 及び模擬トルク信号 τ_a がそれぞれ出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から人力端子20を経由して人力された回転角指令信号 θ_{ss} と、後述の動作によって積分器227から出力された模擬回転角信号 θ_a との模擬回転角偏差信号 $\Delta\theta_a$ ($= \theta_{ss} - \theta_a$) が減算器221によって求められ、係数器222に供給される。すると、係数器222によって模擬速度指令信号 ω_{ss} が求められる。ここで、係数器222は上述した模擬位置制御回路194cを構成しており、その係数値 K_{pe} は上記の式(10)にしたがって設定されている。

【0159】つづいて、係数器222から出力された模擬回転角指令信号 ω_{ss} と、後述の動作によって積分器226から出力された模擬速度信号 ω_a との模擬速度偏差信号 $\Delta\omega_a$ ($= \omega_{ss} - \omega_a$) が減算器223によって求められ、係数器224に供給される。すると、係数器224によって模擬トルク信号 τ_a が求められる。ここで、係数器224は上述した模擬速度制御回路194bを構成しており、その係数値 K_{pe} は上記の式(8)にしたがって設定されている。つぎに、この模擬トルク信号 τ_a

は、制限回路225に入力される。ここで、この制限回路225は、模擬トルク信号 τ_a の振幅の絶対値を予め設定された最大値以下に制限する働きをする。つづいて、この制限回路225に出力された模擬トルク信号 τ_a は出力端子228から出力されると同時に、積分器226に入力される。すると、この積分器226によって、式(6)の演算が行われ、模擬速度信号 ω_a が出力される。さらに、この模擬速度信号 ω_a を出力端子229から出力すると同時に、積分器227に入力すると、同様に式(6)の演算が行われ模擬回転角信号 θ_a が出力端子230から出力される。ここで、積分器226及び227は、上述した機械系模擬回路194aを構成しており、図29における第1及び第2の積分器にそれぞれ相当する。また、積分器226の積分時定数Jは機械系全体の慣性モーメントと等しくなるように設定されている。

【0160】つづいて、図26で示す位置制御回路196において、第1の速度信号 ω_1 が係数器234によって出力される。すなわち、フィードフォワード信号演算回路194から入力端子231を経由して入力された模擬回転角信号 θ_a と、回転検出器4から入力端子232を経由して入力された実回転角信号 θ_a との回転角偏差信号 $\Delta\theta$ ($= \theta_a - \theta_a$) が減算器233によって求められ、係数器234に供給される。すると、係数器234によって第1の速度信号 ω_1 が求められ、出力端子235から出力される。

【0161】つづいて、図27で示す速度制御回路197において、第1のトルク信号 τ_1 が加算器243によって出力される。すなわち、フィードフォワード信号演算回路194から入力端子236を経由して入力された模擬速度信号 ω_a と、位置制御回路196から入力端子237を経由して入力された第1の速度信号 ω_1 との和である第2の速度信号 ω_2 ($= \omega_a + \omega_1$) が加算器238によって求められる。つづいて、この第2の速度信号 ω_2 と、回転検出器4から入力端子239を経由して入力された実速度信号 ω_a との速度偏差信号 $\Delta\omega$ ($= \omega_2 - \omega_a$) が減算器240によって求められ、積分器241及び係数器242にそれぞれ供給される。すると、積分器241と係数器242の出力の和である第1のトルク信号 τ_1 が加算器243によって求められ、出力端子244から出力される。

【0162】つぎに、図28で示すトルク制御回路198において、最終トルク指令信号 τ_{ns} が加算器249によって出力される。すなわち、フィードフォワード信号演算回路194から入力端子246を経由して入力された模擬トルク信号 τ_a と、速度制御回路197から入力端子247を経由して入力された第1のトルク信号 τ_1 との和である最終トルク指令信号 τ_{ns} ($= \tau_a + \tau_1$) が求められて、制限回路250に供給される。この制限回路250は、最終トルク指令信号 τ_{ns} の振幅を予め決

められた設定値以下に制限する働きをする。

【0163】つづいて、電機子電流指令信号 I_{as} が、係数器251によって出力される。すなわち、公知のように、直流電動機1aの発生トルク τ_a と電機子電流 I_a との関係は式(2)で示される。なお、 K_r はトルク定数である。したがって、係数値が $1/K_r$ の値に等しい係数器251に最終トルク指令信号 τ_{ns} が入力されると、電機子電流指令信号 I_{as} が求められる。

【0164】つづいて、電流偏差信号 ΔI ($= I_{as} - I_a$) が、減算器252によって出力される。すなわち、係数器251から出力された電機子電流指令信号 I_{as} と、図示しない電流検出器から入力端子248を経由して入力された実際の電機子電流 I_a との差である電流偏差信号 ΔI が求められ、積分器253及び係数器254に供給される。さらに、端子電圧指令信号 V_{as} が、加算器255によって出力される。すなわち、積分器253の出力と係数器254の出力の和である端子電圧指令信号 V_{as} が求められ、PWM回路256に供給される。このPWM回路256は、端子電圧指令信号 V_{as} に基づいて、例えば、4象限チョッパ回路から構成された電力変換回路13の4つのスイッチング素子のオンオフ信号を出力する。なお、PWM回路256の構成などは公知であるので、詳細な説明を省略する。

【0165】そして、直流電動機1aの端子電圧 V_a が端子電圧指令信号 V_{as} に追随するように、PWM回路256及び電力変換回路13によって制御される。以上の説明から、直流電動機1aの発生トルク τ_a が、最終トルク指令信号 τ_{ns} に追随するように、図28で示したトルク制御回路198及び電力変換回路13によって制御されることが理解される。

【0166】なお、図26で示す位置制御回路196中の係数器234の係数値 K_{pp} は、従来の位置制御回路のゲインに相当し、従来と同様の方法で設定すればよい。また、図27で示す速度制御回路197中の係数器242の係数値 K_{pp} 及び積分器241のゲイン K_{pi} はそれぞれ、従来の速度制御回路の比例ゲイン及び積分ゲインに相当し、これらの値も従来と同様の方法で設定すればよい。定常的に負荷トルクが印加される場合は、このように速度制御回路197で積分演算を行うことによって、この負荷トルクによる速度変動をなくすことが可能である。また、図27で示す速度制御回路197は、速度偏差信号 $\Delta\omega$ を入力して比例積分演算により第1のトルク信号 τ_1 を求めているが、微分演算を付加することにより機械共振に起因する振動をより一層低減することが可能である。さらに、図28で示すトルク制御回路198中の係数器254の係数値 K_{pp} 及び積分器253のゲイン K_{pi} はそれぞれ、従来の電流制御回路の比例ゲイン及び積分ゲインに相当し、これらの値も従来と同様の方法で設定すればよい。

【0167】実施例13. つぎに、この発明の実施例1

3の構成を、図30、図31及び図32を参照しながら説明する。図30は実施例13の全体を示すブロック図であり、直流電動機1a、トルク伝達機構2、負荷機械3、回転検出器4、位置制御回路196、速度制御回路197、トルク制御回路198、電力変換回路13及び回転角指令信号発生回路15は、上記実施例12のものと全く同一である。

【0168】図30において、この発明の実施例13は、上述した実施例12と全く同一のものと、制御パラメータが可変なフィードフォワード信号演算回路195と修正回路190とから構成されている。この発明における直流電動機1aのトルクの制御手段は、実施例12と同様に、トルク制御回路198と電力変換回路13とから構成されている。

【0169】図31は、上述したフィードフォワード信号演算回路195の詳細な構成を示すブロック図である。図31において、フィードフォワード信号演算回路195は、回転角指令信号発生回路15に接続された入力端子260と、修正回路190に接続された入力端子261と、入力端子260に接続された減算器262と、この減算器262に接続された係数器263と、この係数器263に接続された減算器264と、この減算器264に接続された係数器265と、入力端子261及び係数器265に接続された乗算器266と、係数器265に接続された積分器267と、この積分器267に接続された積分器268と、乗算器266に接続され*

$$G_s(s) = \frac{\omega_a}{\omega_{as}} = \frac{\omega_{sc}}{s + \omega_{sc}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_{sc}} s} \quad (11)$$

【0173】ここで、式(8)から、模擬速度制御ループの応答周波数 ω_{sc} の逆数が時定数 T_{sc} となるので、式(11)は式(7)に一致する。さらに、式(6)から、模擬トルク信号 τ_a は、模擬速度信号 ω_a を微分して慣性モーメントJを乗算することによって得られることがわかる。したがって、図33のように、模擬速度信号 ω_a を出力する積分時定数が1の積分器の入力をJ倍することにより模擬トルク信号 τ_a が得られる。また、模擬回転角制御ループが等価であることは明らかである。以上の説明から、図33が図29と等価であることが理解される。

【0174】さて、フィードフォワード信号演算回路195における模擬回転角信号 θ_a 、模擬速度信号 ω_a 及び模擬トルク信号 τ_a の演算のために図33のブロック図を用いると、機械系の慣性モーメントが未知の場合や運転中に変化するような場合、調節すべき制御パラメータは慣性モーメントJのみとなる。模擬速度制御ループの応答周波数 ω_{sc} は設定値であり、式(10)から模擬

*た出力端子269と、積分器267に接続された出力端子270と、積分器268に接続された出力端子271とから構成されている。

【0170】図32は、上述した修正回路190の詳細な構成を示すブロック図である。図32において、修正回路190は、フィードフォワード信号演算回路195に接続された入力端子273及び275と、回転検出器4に接続された入力端子274と、入力端子273及び274に接続された減算器276と、入力端子275に接続された極性判別回路277と、減算器276及び極性判別回路277に接続された乗算器278と、この乗算器278に接続された積分器279と、定数設定器280と、積分器279及び定数設定器280に接続された加算器281と、この加算器281に接続された出力端子282とから構成されている。

【0171】つぎに、この実施例13におけるフィードフォワード信号演算回路195中の調節すべき制御パラメータについて、図33を参照しながら説明する。図33は、図29に示された模擬位置制御系のブロック図を等価変換したブロック図である。まず、図33が図29と等価であることを説明する。まず、図33において、模擬速度指令信号 ω_{as} に対する模擬速度信号 ω_a の伝達関数 $G_s(s)$ を求めるとき、下記の式(11)に示すような一次遅れの伝達関数となる。

【0172】

【数11】

位置制御ループのゲイン K_p も設定値である。また、図29と図33とを比較すると、図29では機械系模擬回路194aと模擬速度制御回路194bとが明確に区別されているのに対し、図33ではこれらの回路の区別が明確でないことがわかる。このことは、フィードフォワード信号演算回路195における演算に利用するブロック図は、図29を等価変換したブロック図であればどのようなものであってもよいことを意味している。ただし、図29のようなブロック図を用いると、機械系の慣性モーメントに応じて調節すべき制御パラメータは、模擬速度信号 ω_a を出力する第1の積分器226の積分時定数、すなわち慣性モーメントJと模擬速度制御回路194bのゲイン K_{as} の2つとなる。

【0175】つぎに、この実施例13におけるフィードフォワード信号演算回路195中の制御パラメータである慣性モーメントJを修正するための方法を図34を参照しながら説明する。まず、フィードフォワード信号演算回路195中の慣性モーメントJが実際の機械系の慣

41

性モーメントより小さい場合は、図34(a)に示すように、模擬速度指令信号 ω_{ss} の変化に対し、実速度信号 ω_s の応答が模擬速度信号 ω_s の応答に対して遅れる。このとき、図34(a)からわかるように、模擬速度信号 ω_s と実速度信号 ω_s との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$
($=\omega_s - \omega_s$)の極性は、加速中は正で減速中は負となる。反対に、フィードフォワード信号演算回路195中の慣性モーメントJが実際の機械系の慣性モーメントより大きい場合は、模擬速度信号 ω_s の応答が実速度信号 ω_s の応答に対して遅れるので、第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ の極性は、加速中は負で減速中は正となる。したがって、第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ の絶対値の振幅が減少するように、フィードフォワード信号演算回路195中の慣性モーメントJの値を修正すればよいことがわかる。

【0176】ここで、第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ の極性は、加減速状態に応じて変化するが、図34(b)からわかるように、フィードフォワード信号演算回路195から出力される模擬トルク信号 τ_s の極性を判別することにより、加速中か減速中かの判定ができる。すなわち、加速中は模擬トルク信号 τ_s の極性は、加速中は正となり減速中は負となる。そこで、例えば、加速中すなわち模擬トルク信号 τ_s の極性が正のときに、第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ の極性が正であればフィードフォワード信号演算回路195中の慣性モーメントJの値を増加させ、反対に第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ の極性が負であればフィードフォワード信号演算回路195中の慣性モーメントJの値を増加させればよい。なお、フィードフォワード信号演算回路195において、図29で示されたブロック図の演算を行う場合は、慣性モーメントJの値を修正するとともに、式(8)を用いて模擬速度制御回路194bのゲイン K_{ss} の値も修正する必要がある。以上でこの発明における制御パラメータの修正方法の説明を終える。

【0177】つぎに、実施例2の動作を、図30、図31及び図32を参照しながら説明する。ここで、フィードフォワード信号演算回路195及び修正回路190以外の動作は上述した実施例1の動作と同じなので説明を省略する。

【0178】まず、図31で示すフィードフォワード信号演算回路195において、乗算器266によって模擬トルク信号 τ_s が出力される。すなわち、回転角指令信号発生回路15から入力端子260を経由して入力された回転角指令信号 θ_{ss} と、後述する動作によって積分器268から出力された模擬回転角信号 θ_s との模擬回転角偏差信号 $\Delta\theta_s$
($=\theta_{ss} - \theta_s$)が減算器262によって求められ、係数器263に供給される。すると、係数器263によって、模擬速度指令信号 ω_{ss} が求められる。ここで、係数器263は図33における模擬位置制御回路を構成しており、その係数値 K_p は上記の式(1)

10

42

0)にしたがって設定されている。つづいて、この係数器263から出力された模擬速度指令信号 ω_{ss} と、後述する動作によって積分器267から出力された模擬速度信号 ω_s との模擬速度偏差信号 $\Delta\omega_s$
($=\omega_{ss} - \omega_s$)が減算器264によって求められ、係数器265に供給される。さらに、この係数器265の出力を積分器267に入力すると、積分器267によって模擬速度信号 ω_s が求められる。ここで、係数器265の係数値は、図33に示したように模擬速度制御ループの応答周波数 ω_{ss} の値と等しく設定されている。つづいて、係数器265の出力と、修正回路190から入力端子261を経由して入力された慣性モーメントJとの積である模擬トルク信号 τ_s が乗算器266によって求められ、出力端子269から出力される。

【0179】つづいて、積分器267によって得られた模擬速度信号 ω_s が出力端子270から出力される。さらに、この模擬速度信号 ω_s を積分器268に入力して積分すると模擬回転角信号 θ_s が求められ、出力端子271から出力される。

20

【0180】つぎに、図32で示す修正回路190において、加算器281によって慣性モーメントJが出力される。すなわち、フィードフォワード信号演算回路195から入力端子273を経由して入力された模擬速度信号 ω_s と、回転検出器4から入力端子274を経由して入力された実速度信号 ω_s との第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ が減算器276によって求められる。さらに、フィードフォワード信号演算回路195から入力端子275を経由して入力された模擬トルク信号 τ_s を極正判別回路277に入力すると、模擬トルク信号 τ_s の極性信号 S_g が求められる。ここで、極性信号 S_g は、模擬トルク信号 τ_s の極性が正であれば1、負であれば-1となる2値信号である。つづいて、減算器276から出力された第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ と、極正判別回路277から出力された模擬トルク信号 τ_s の極性信号 S_g との積が乗算器278によって求められ、積分器279に供給される。すると、この積分器279によって慣性モーメントJの修正値 ΔJ が求められる。つづいて、定数設定器280から出力された慣性モーメントの初期値 J_0 とこの修正値 ΔJ とを加算器281によって加算することにより、慣性モーメントJが求められ、出力端子282から出力される。ここで、慣性モーメントの初期値 J_0 として、例えば、直流電動機1₁の慣性モーメントの値を用いればよい。

30

【0181】以上のように、第2の速度偏差信号 $\Delta\omega_2$ が零となるように積分器279によって慣性モーメントJを修正することにより、フィードフォワード信号演算回路195中の制御パラメータである慣性モーメントJが実際の機械系の慣性モーメントと一致するので、機械系の慣性モーメントが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、常に位置制御の応答特性を一定に保つこ

とができる。

【0182】実施例14. なお、上述した実施例13では、フィードフォワード信号演算回路から出力された模擬速度信号 ω_a と、回転検出器4から出力された実速度信号 ω_m との偏差が減少するように修正回路190において慣性モーメントJの値を修正する場合について説明したが、速度信号を積分すると回転角信号となることから、フィードフォワード信号演算回路から出力された模擬回転角信号 θ_a と、回転検出器4から出力された実回転角信号 θ_m との偏差が減少するように修正回路190において慣性モーメントJの値を修正するようにしてもよい。この場合は、模擬回転角信号 θ_a と実回転角信号 θ_m との回転角偏差信号は、模擬速度信号 ω_a と実速度信号 ω_m との速度偏差信号を積分した信号となるので、図32で示す修正回路190において、積分器279の*

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_a}{dt} &= \omega_a \\ \frac{d\omega_a}{dt} &= \frac{1}{J} \tau_a \\ \tau_a &= K_{sa} [K_{pa} (\theta_{ms} - \theta_a) - \omega_a] \end{aligned} \quad (12)$$

【0186】そこで、フィードフォワード信号演算回路を、マイクロコンピュータを用いて式(12)の微分方程式を数値積分することによって、模擬回転角信号 θ_a 、模擬速度信号 ω_a 及び模擬トルク信号 τ_a を出力するような構成にしてもよい。

【0187】実施例17. また、上述した各実施例では、直流電動機1aを用いた場合を説明したが、誘導電動機や同期電動機のような交流電動機を用いてもよい。すなわち、公知のベクトル制御により、これらの交流電動機の発生トルクを直流電動機並の高速応答性でもって制御できるので、最終トルク指令信号 τ_{ns} に追随するようこれからの交流電動機の発生トルクを制御することは容易であり、初期の目的を達し得ることはいうまでもない。

【0188】

【発明の効果】この発明の請求項1は、以上説明したとおり、第2の位置制御回路7、第2の速度制御回路10a及び機械系模擬回路6aを付加することにより、回転角指令信号 θ_{ns} の変化に対する位置制御の応答性を改善できる効果がある。また、第3の速度制御回路11aを付加することにより、負荷トルクの変化に対しても位置制御の応答性を改善できる効果がある。さらに、請求項2においては、修正回路14を付加し、第3の速度制御回路11bから出力される第3のトルク信号 τ_3 の振幅を所定値以下に減少させるように、機械系模擬回路6bの積分時定数及び第2の速度制御回路10bのゲインを修正するようにしたので、負荷機械3の慣性モーメント

*代りに係数器を用いてもよい。

【0183】実施例15. また、式(6)からわかるように、模擬トルク信号 τ_a は模擬回転角信号 θ_a を2回微分した信号であるので、回転角指令信号 θ_{ns} に対する模擬回転角信号 θ_a の伝達関数の分母と分子の次数差が2以上(ただし、分母の次数>分子の次数)であれば、模擬トルク信号 τ_a を微分演算を用いないで求めることができる。したがって、模擬速度制御回路194bに積分演算を付加したり、機械系模擬回路194aの次数を増やしたりしてもよい。

【0184】実施例16. また、図29から下記の式(12)に示す微分方程式が得られる。

【0185】

【数12】

が未知の場合や、運転中に変化するような場合でも、位置制御の応答周波数を一定に保つことができるという効果を奏する。

【0189】この発明の請求項3は、以上説明したとおり、第2の位置制御回路7、第2の速度制御回路10a及び機械系模擬回路6cを付加することにより、回転角指令信号 θ_{ns} の変化に対する位置制御の応答性を改善できる効果がある。また、第3の速度制御回路11aを付加することにより、負荷トルクの変化に対しても位置制御の応答性を改善できる効果がある。さらに、請求項4においては、修正回路14を付加し、第3の速度制御回路11bから出力される第3のトルク信号 τ_3 の振幅を所定値以下に減少させるように、機械系模擬回路6dの積分時定数及び第2の速度制御回路10bのゲインを修正するようにしたので、負荷機械3の慣性モーメントが未知の場合や、運転中に変化するような場合でも、位置制御の応答周波数を一定に保つことができるという効果を奏する。

【0190】この発明の請求項5、6は、以上説明したとおり、フィードフォワード信号演算回路を用いたことにより、電動機、トルク伝達機構及び負荷機械から構成される機械系において、トルク伝達機構の剛性やギアのガタなどに起因する機械振動特性が存在するような場合においても高速応答の位置制御性能が得られる効果がある。さらに、フィードフォワード信号演算回路は微分演算を行わないで、回転角指令信号が急峻に変化しても滑らかな信号が出力され、電動機の発生トルクが急激に

45

変化して機械振動や機械音を生じないという効果がある。また、この発明の請求項7～9は、さらに修正回路を付加し、フィードフォワード信号演算回路中のパラメータである慣性モーメントを機械系の慣性モーメントに応じて修正するようにしたので、負荷機械の慣性モーメントが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、位置制御の応答周波数を常に一定に保つことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1を示すブロック図である。

【図2】この発明の実施例1の第1の位置制御回路を示すブロック図である。

【図3】この発明の実施例1の機械系模擬回路を示すブロック図である。

【図4】この発明の実施例1の第2の位置制御回路を示すブロック図である。

【図5】この発明の実施例1の第1の速度制御回路を示すブロック図である。

【図6】この発明の実施例1の第2の速度制御回路を示すブロック図である。

10

20

【図7】この発明の実施例1の第3の速度制御回路を示すブロック図である。

【図8】この発明の実施例1のトルク制御回路を示すブロック図である。

【図9】この発明の実施例2を示すブロック図である。

【図10】この発明の実施例2の機械系模擬回路を示すブロック図である。

【図11】この発明の実施例2の第2の速度制御回路を示すブロック図である。

【図12】この発明の実施例2の第3の速度制御回路を示すブロック図である。

【図13】この発明の実施例2の修正回路を示すブロック図である。

【図14】この発明の実施例の第2の速度制御回路及び機械系模擬回路とで構成される速度制御系のブロック図である。

【図15】図14の速度制御系のボード線図である。

【図16】この発明の実施例2の修正回路の動作原理の説明図である。

【図17】従来の電動機の位置制御装置を示すブロック図である。

【図18】この発明の実施例6を示すブロック図である。

【図19】この発明の実施例6の機械系模擬回路を示すブロック図である。

【図20】この発明の実施例6のトルク制御回路を示すブロック図である。

【図21】この発明の実施例の第2の速度制御回路及び

46

機械系模擬回路とで構成される速度制御系のブロック図である。

【図22】この発明の実施例7を示すブロック図である。

【図23】この発明の実施例2の機械系模擬回路を示すブロック図である。

【図24】この発明の実施例12を示すブロック図である。

【図25】この発明の実施例12のフィードフォワード信号演算回路を示すブロック図である。

【図26】この発明の実施例12の位置制御回路を示すブロック図である。

【図27】この発明の実施例12の速度制御回路を示すブロック図である。

【図28】この発明の実施例12のトルク制御回路を示すブロック図である。

【図29】この発明の実施例12のフィードフォワード信号演算回路の演算内容を示すブロック図である。

【図30】この発明の実施例13を示すブロック図である。

【図31】この発明の実施例13のフィードフォワード信号演算回路を示すブロック図である。

【図32】この発明の実施例13の修正回路を示すブロック図である。

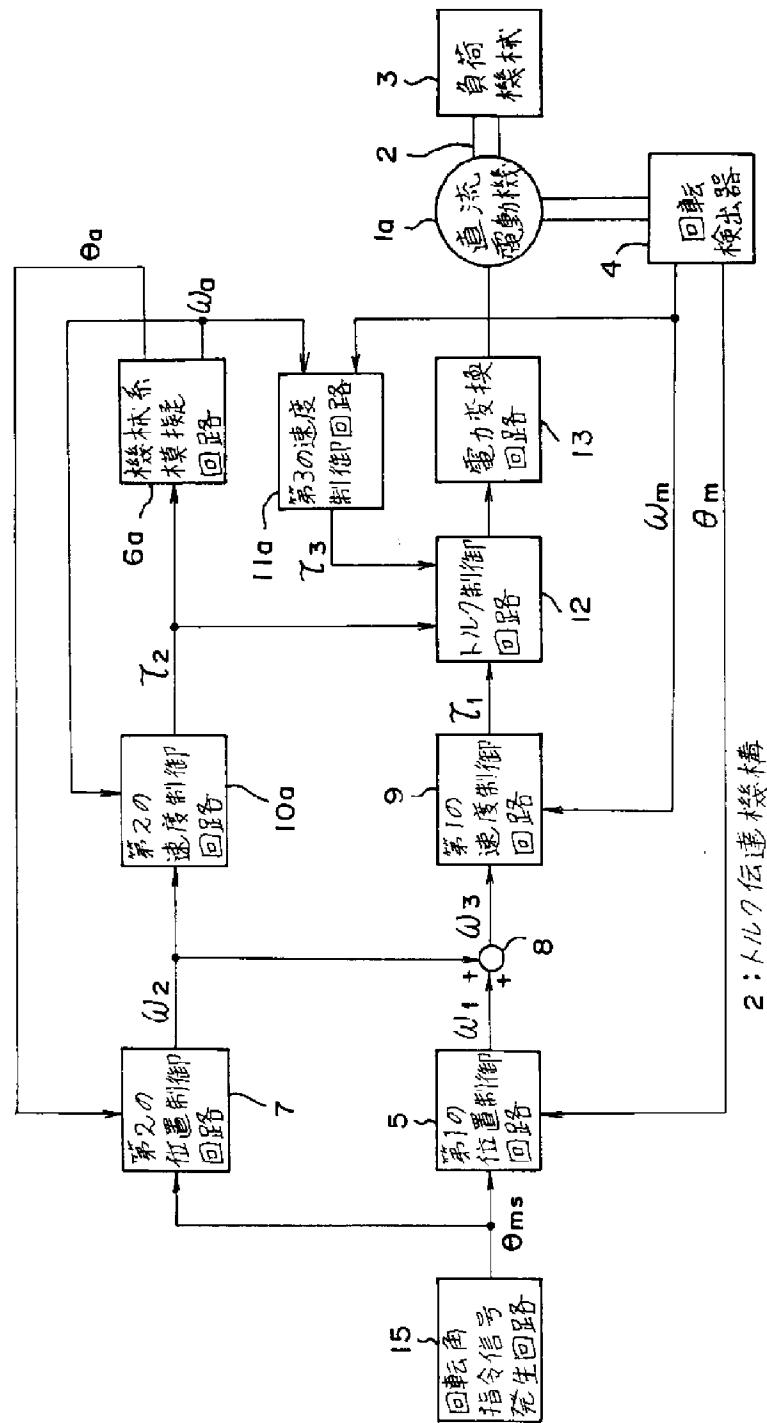
【図33】この発明の実施例13のフィードフォワード信号演算回路の演算内容を示すブロック図である。

【図34】この発明の実施例13の修正回路の動作の説明図である。

【符号の説明】

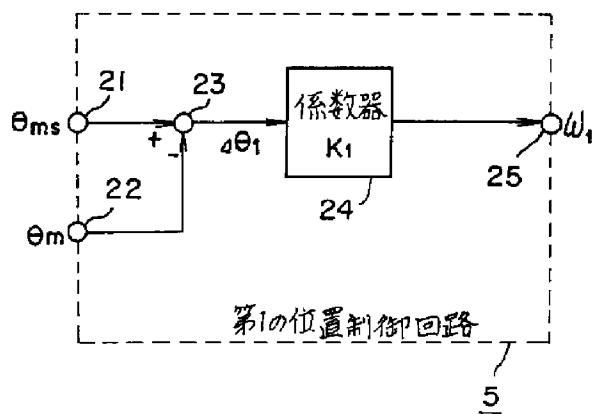
- 1 a 直流電動機
- 2 トルク伝達機構
- 3 負荷機械
- 4 回転検出器
- 5 第1の位置制御回路
- 6 a～6 d 機械系模擬回路
- 7 第2の位置制御回路
- 8 加算器
- 9 第1の速度制御回路
- 10 a, 10 b 第2の速度制御回路
- 11 a, 11 b 第3の速度制御回路
- 12, 12 a トルク制御回路
- 13 電力変換回路
- 14, 19 0 修正回路
- 15 回転角指令信号発生回路
- 19 4, 19 5 フィードフォワード信号演算回路
- 19 6 位置制御回路
- 19 7 速度制御回路
- 19 8 トルク制御回路

【図1】

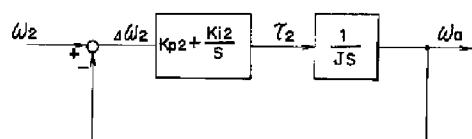


2:トルク伝達機構

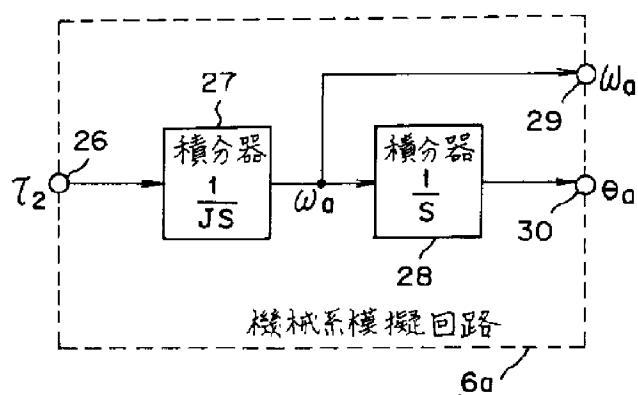
【図2】



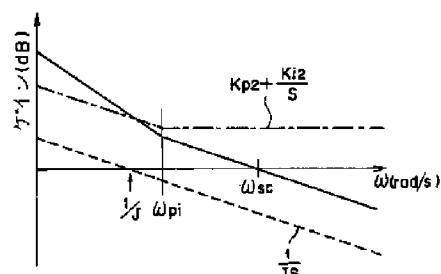
【図14】



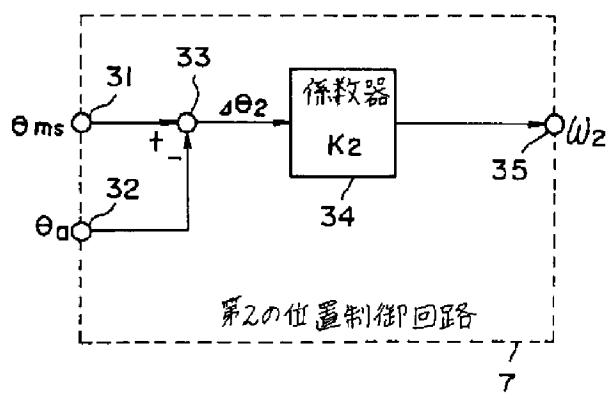
【図3】



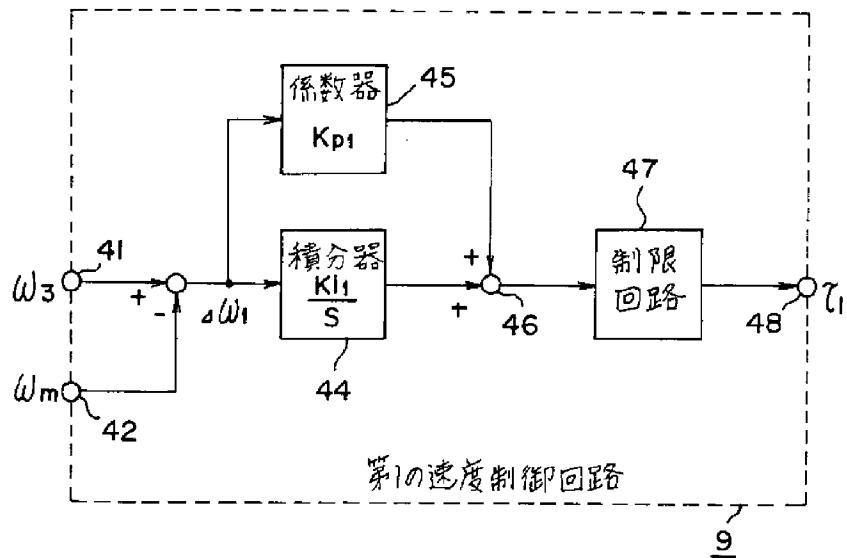
【図15】



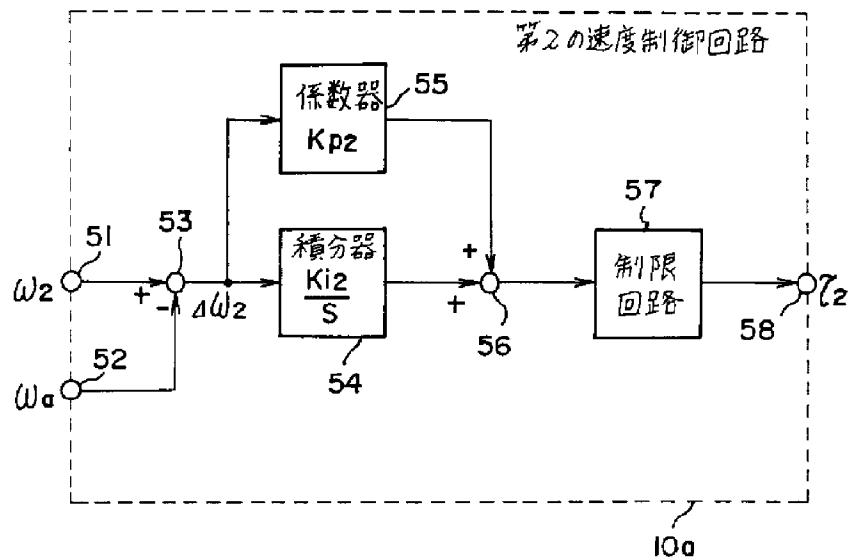
【図4】



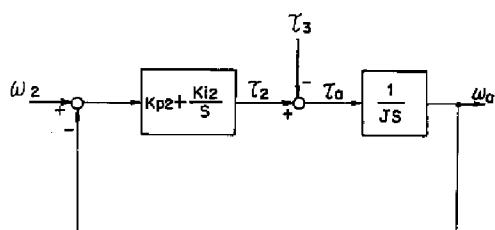
【図5】



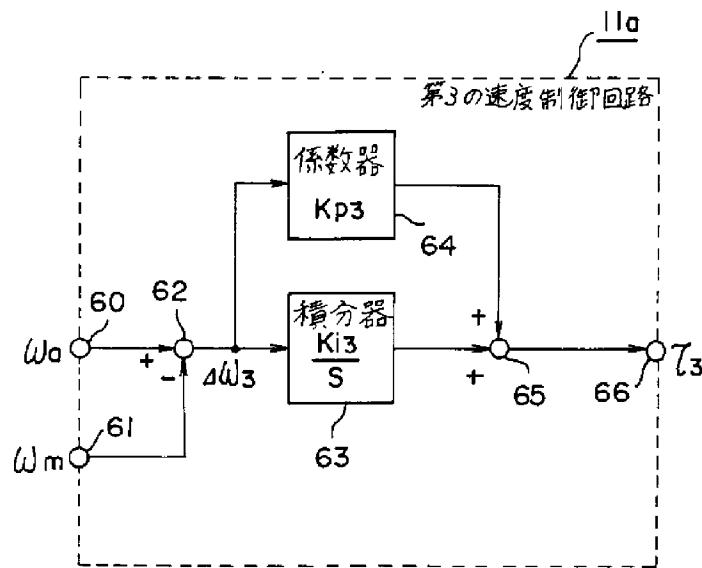
【図6】



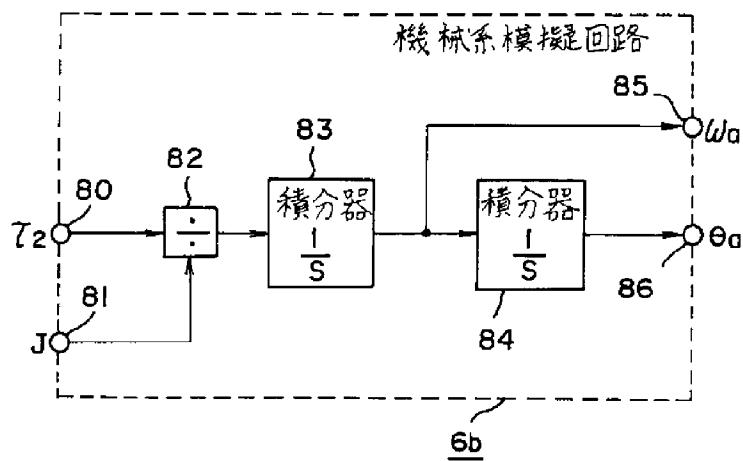
【図21】



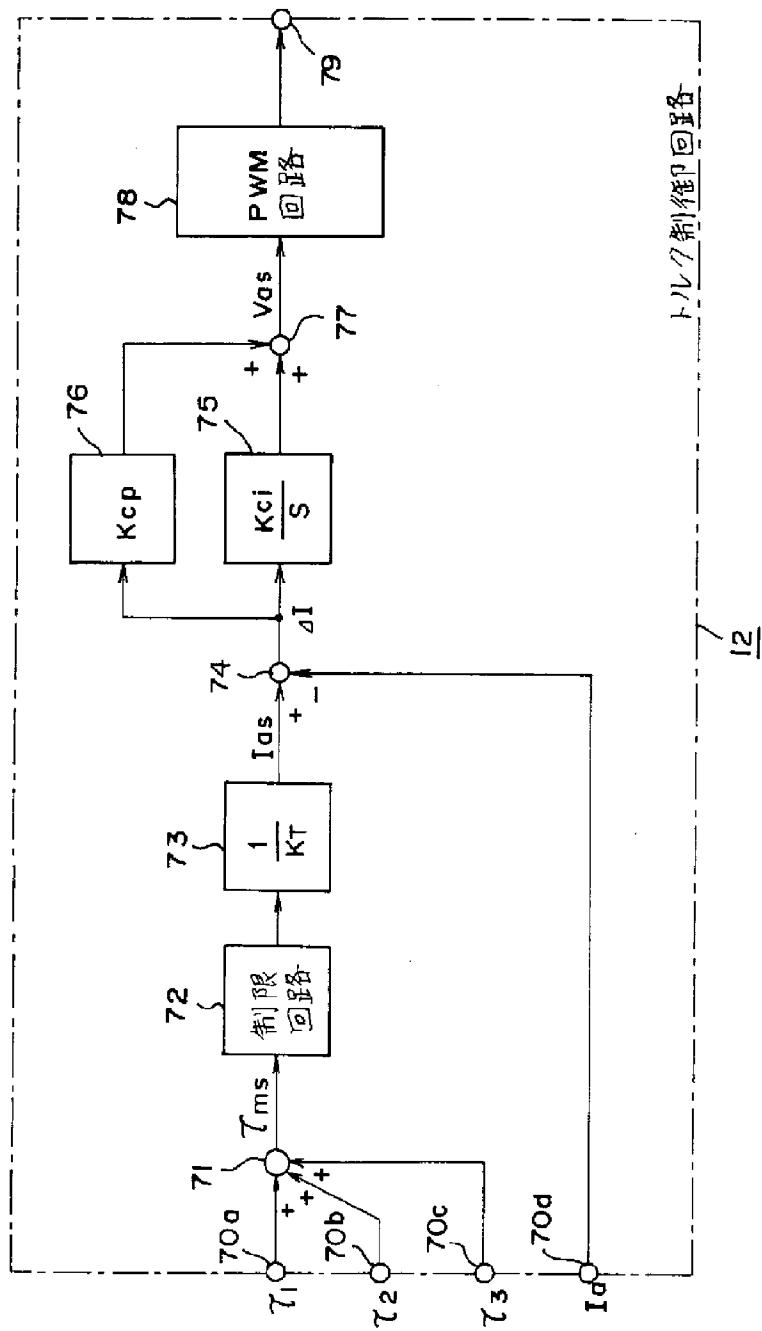
【図7】



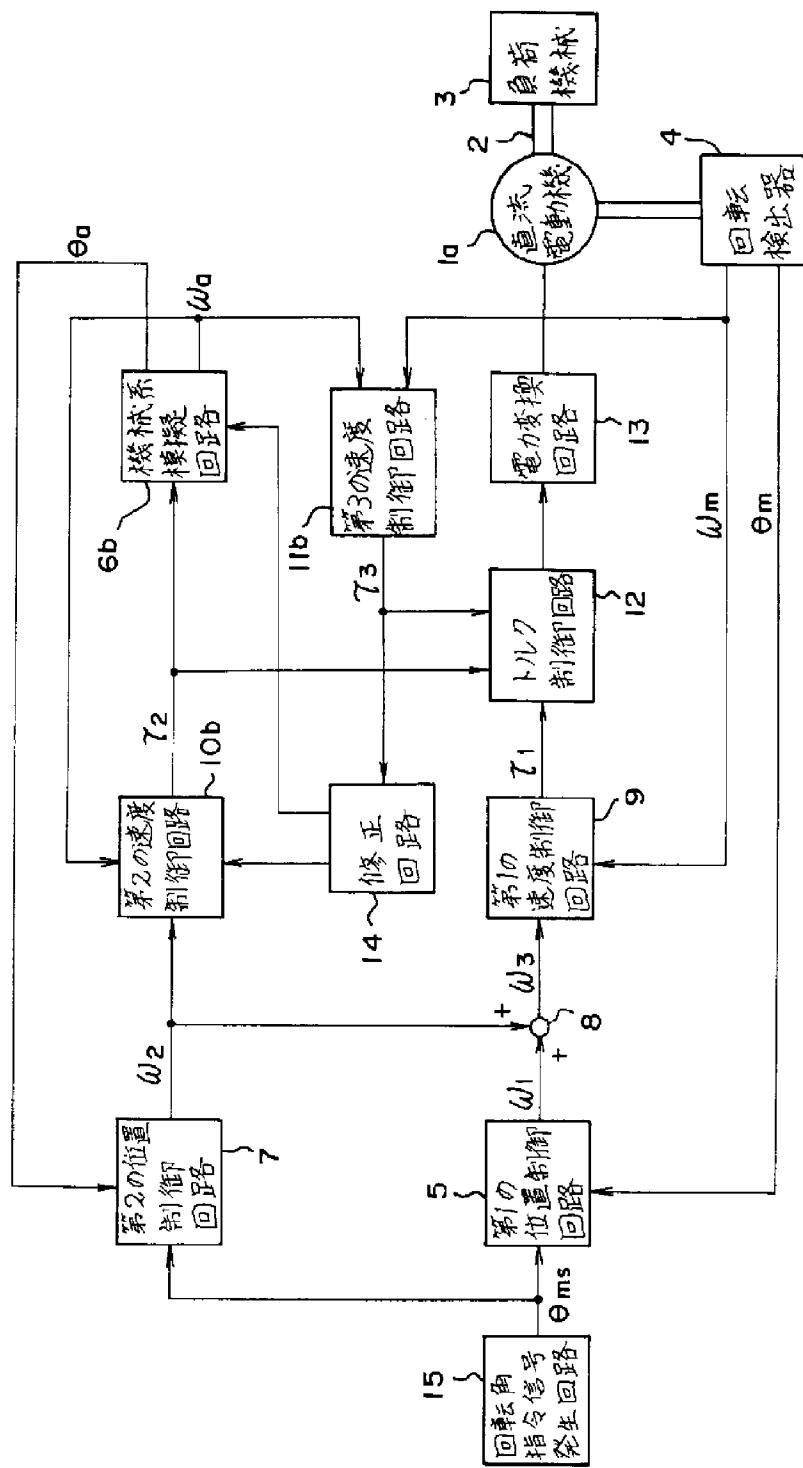
【図10】



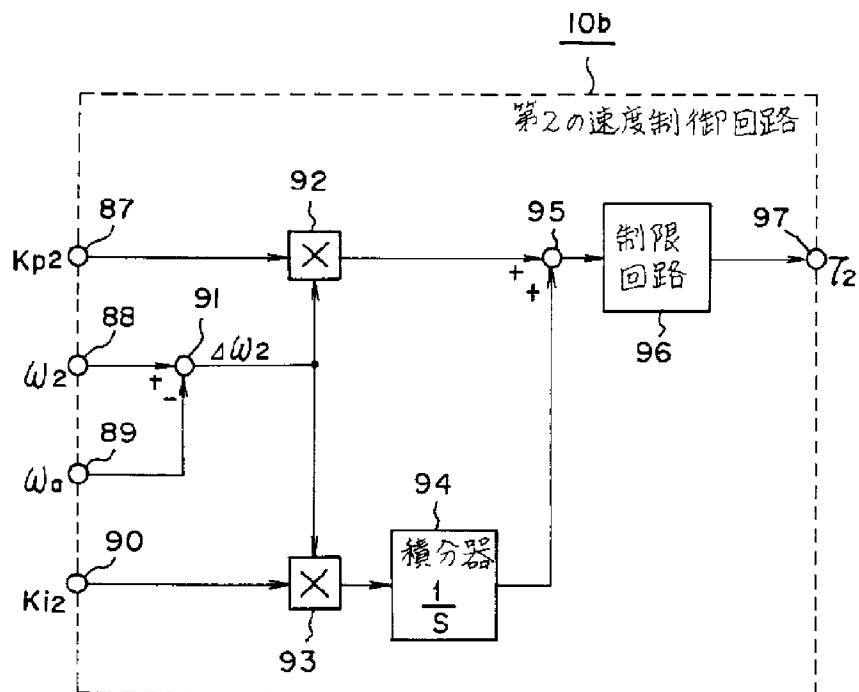
【図8】



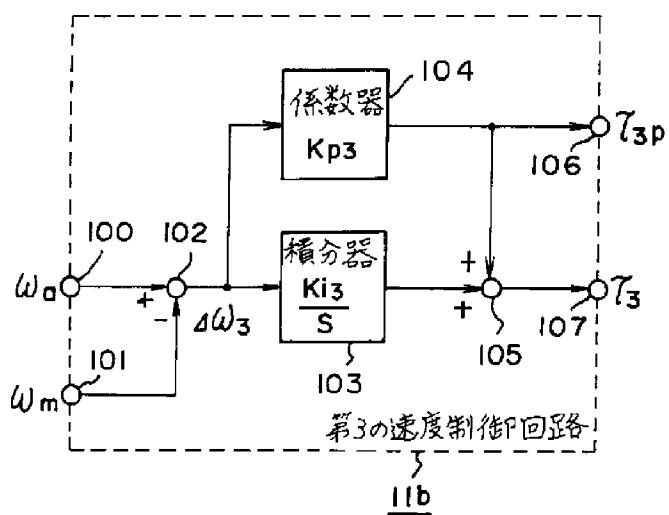
【図9】



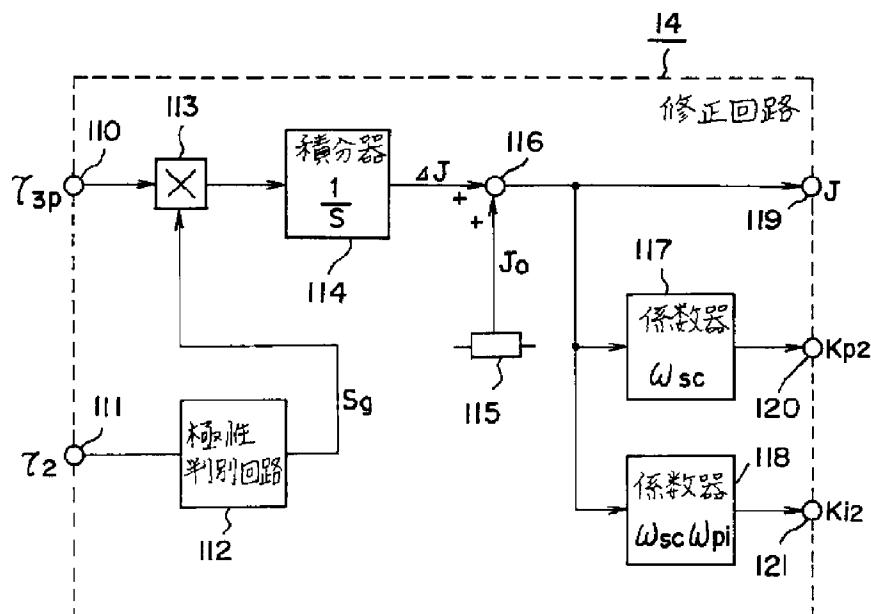
【図11】



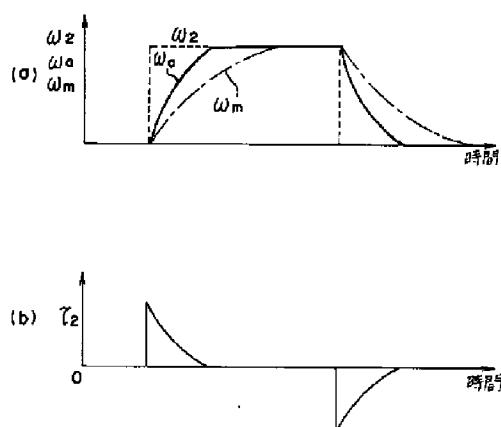
【図12】



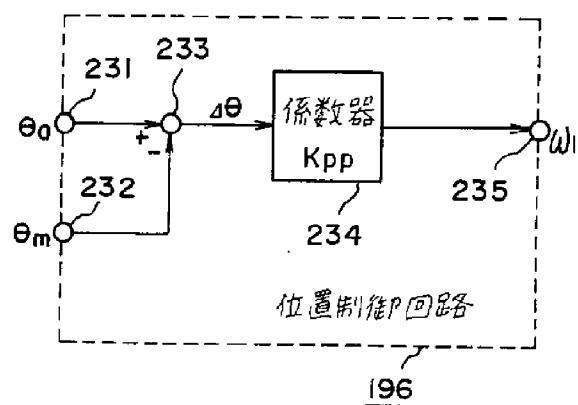
【図13】



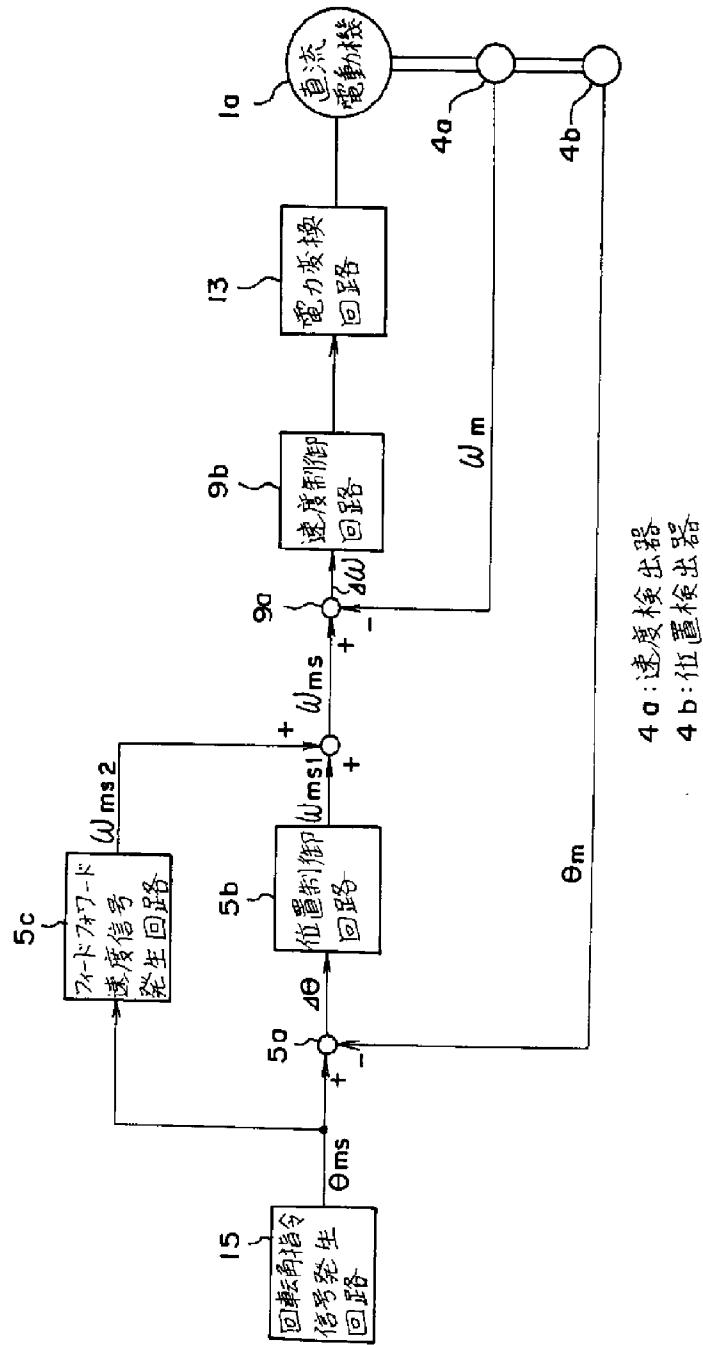
【図16】



【図26】

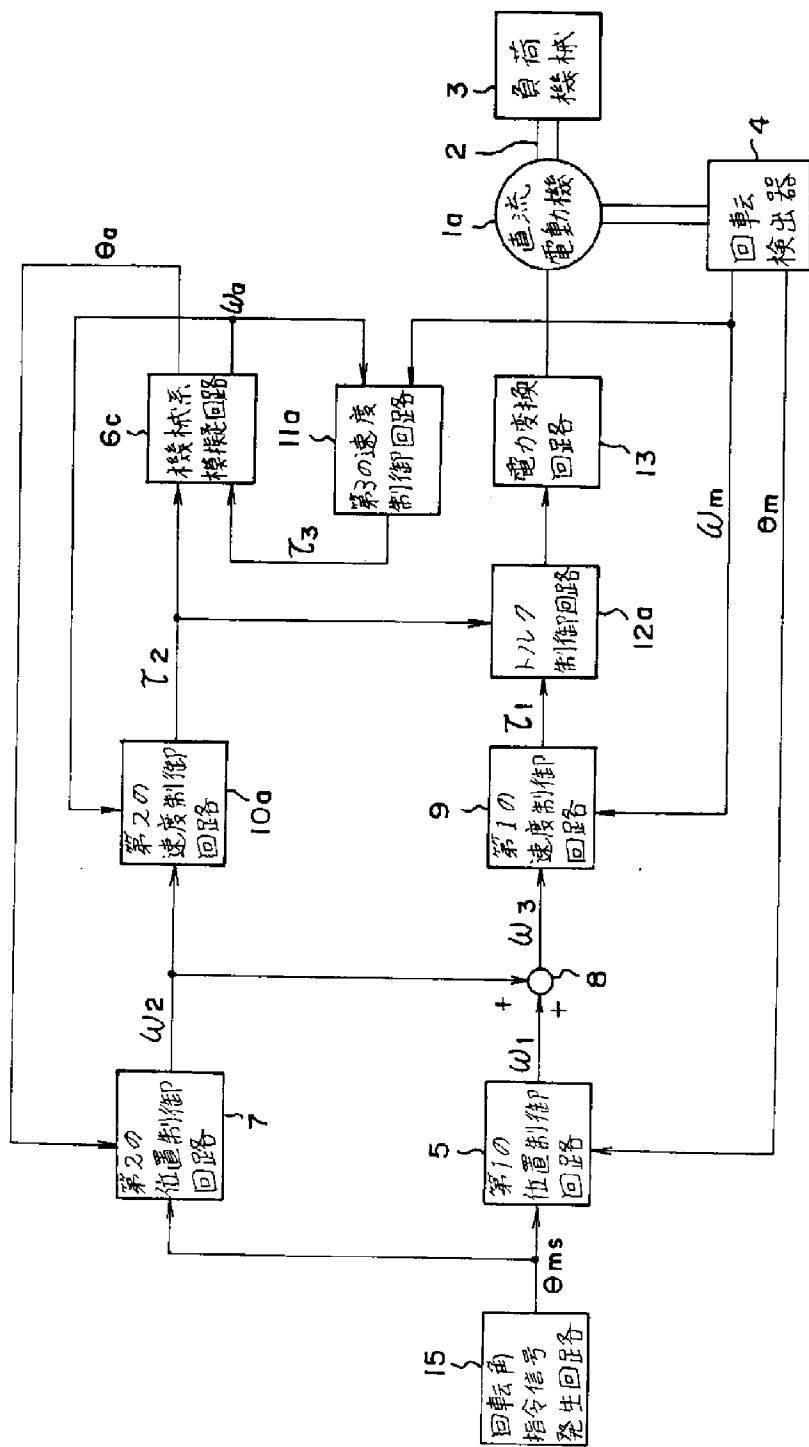


【図17】

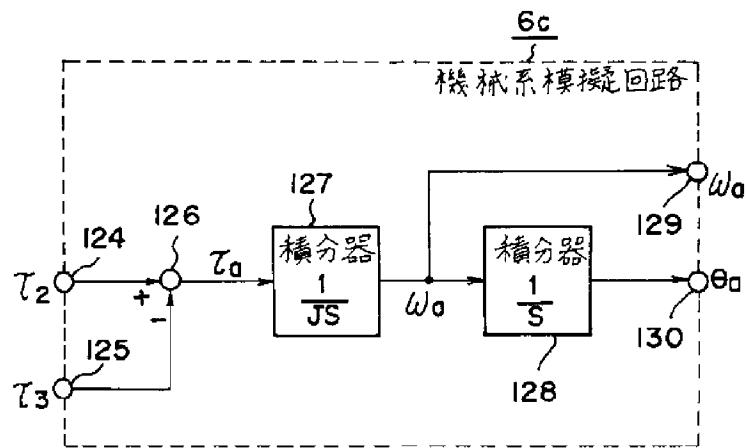


4a: 速度検出器
4b: 位置検出器

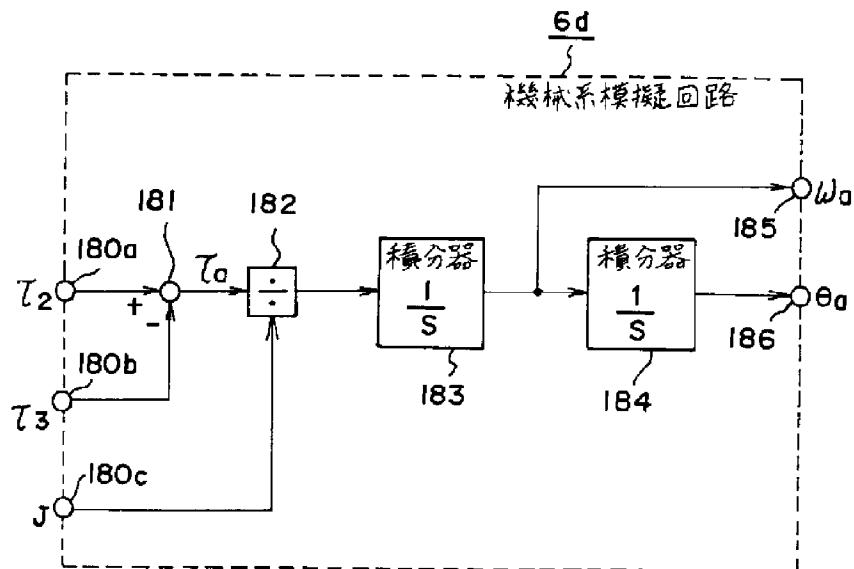
【図18】



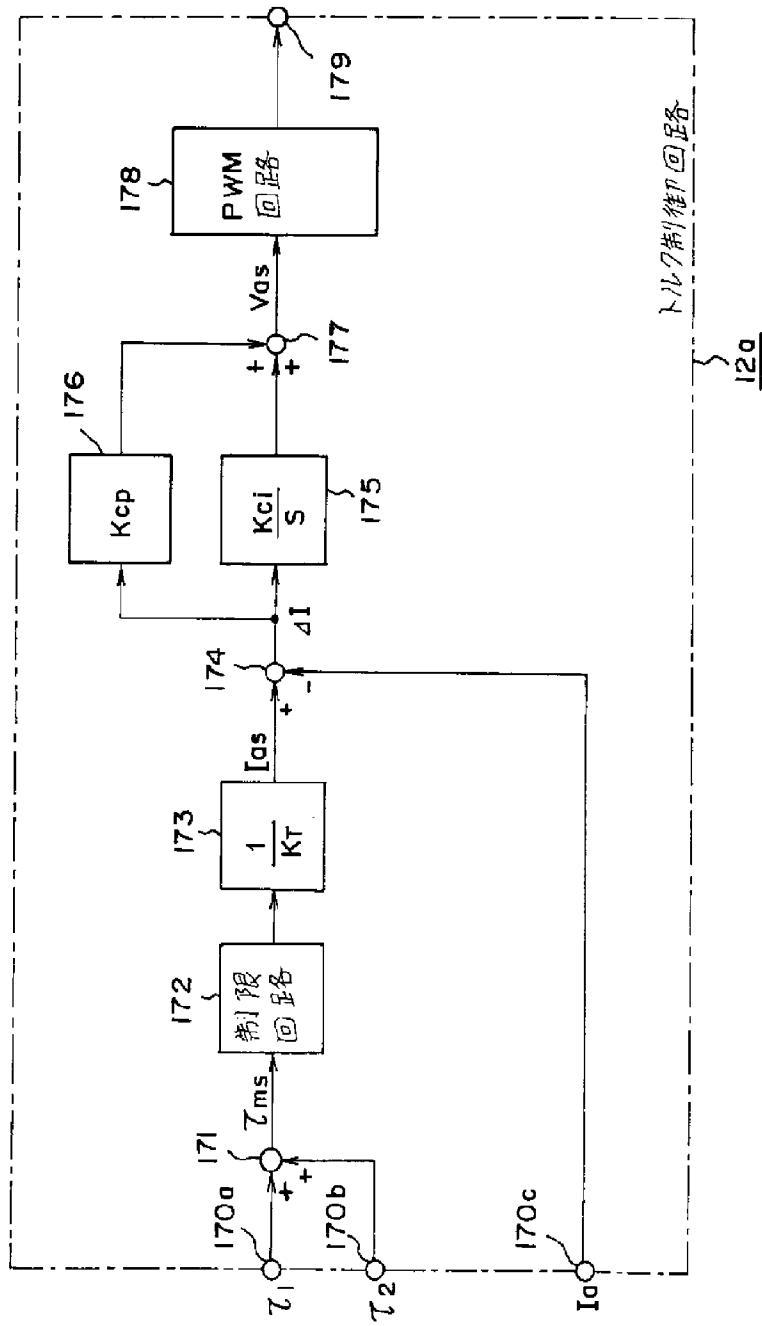
【図19】



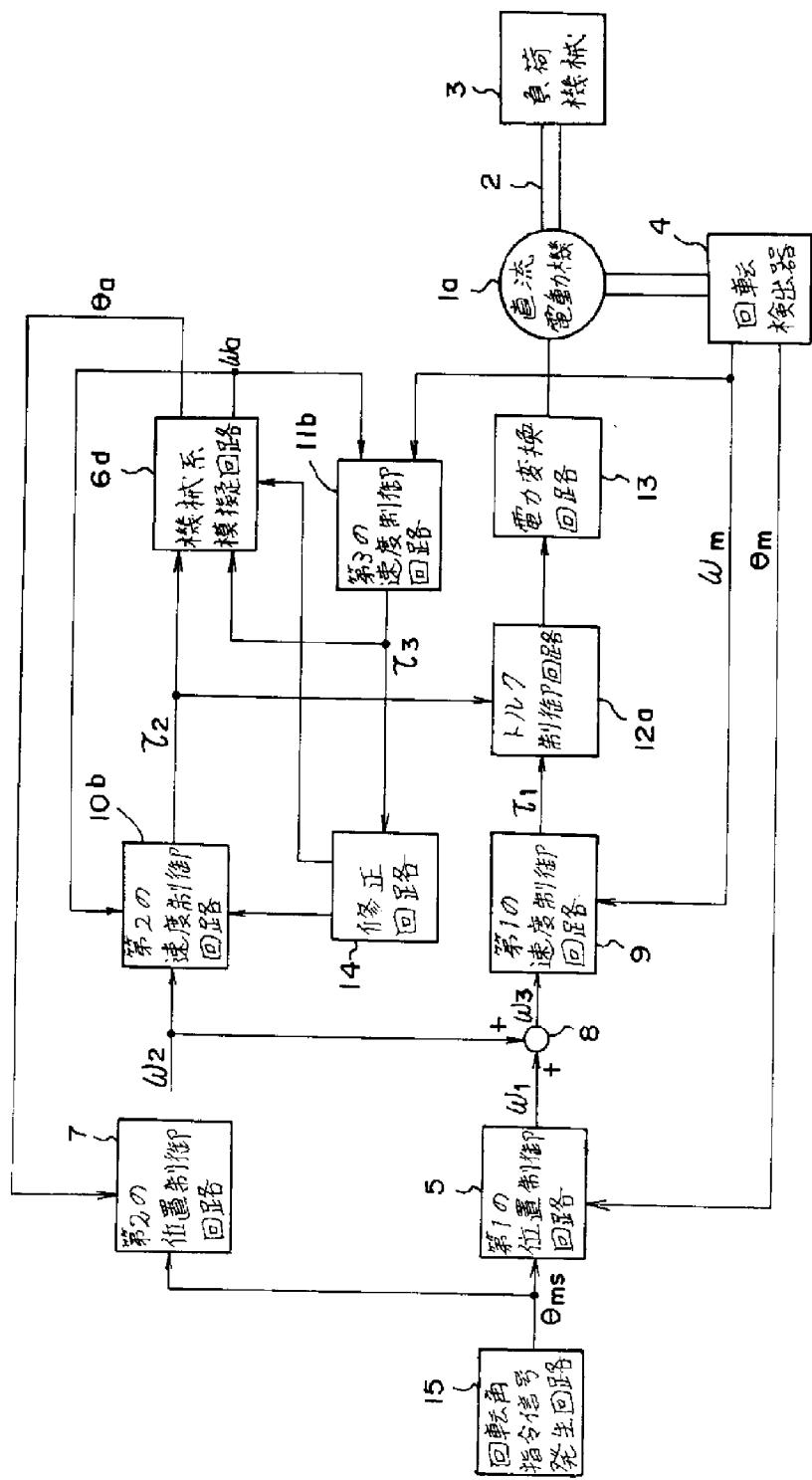
【図23】



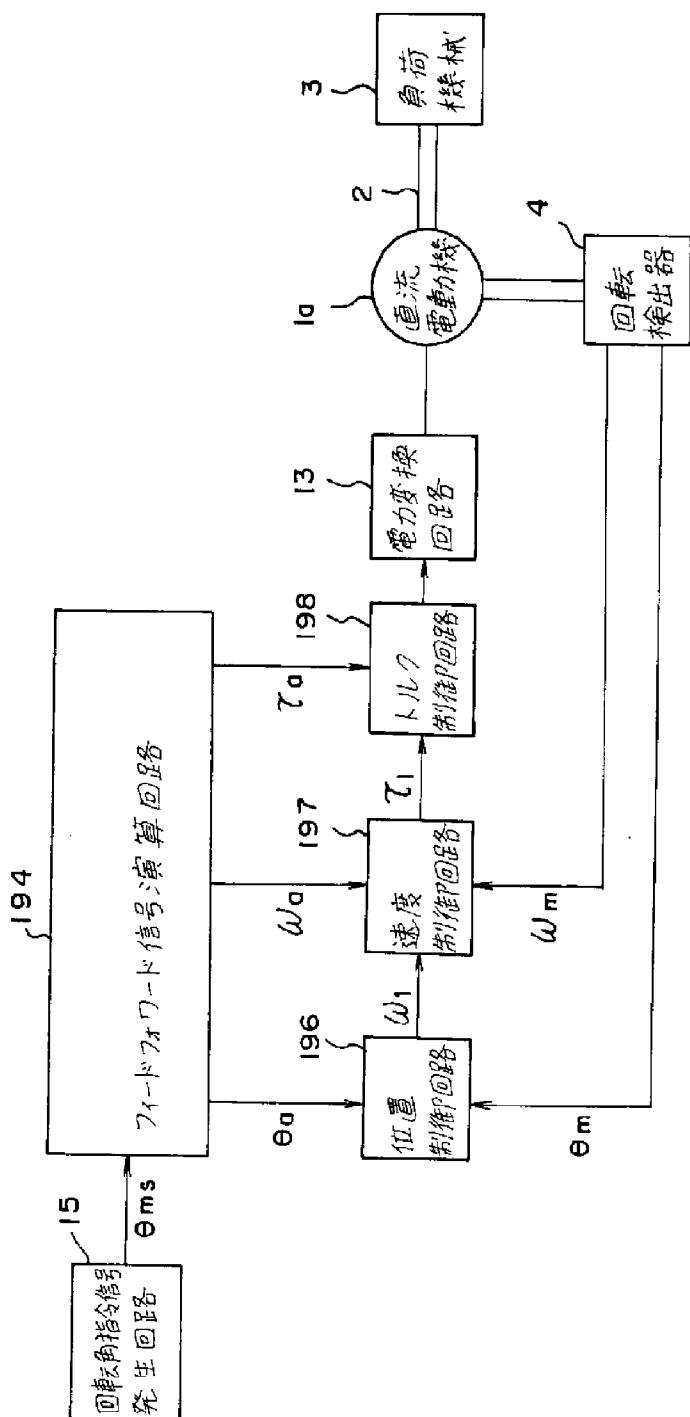
【図20】



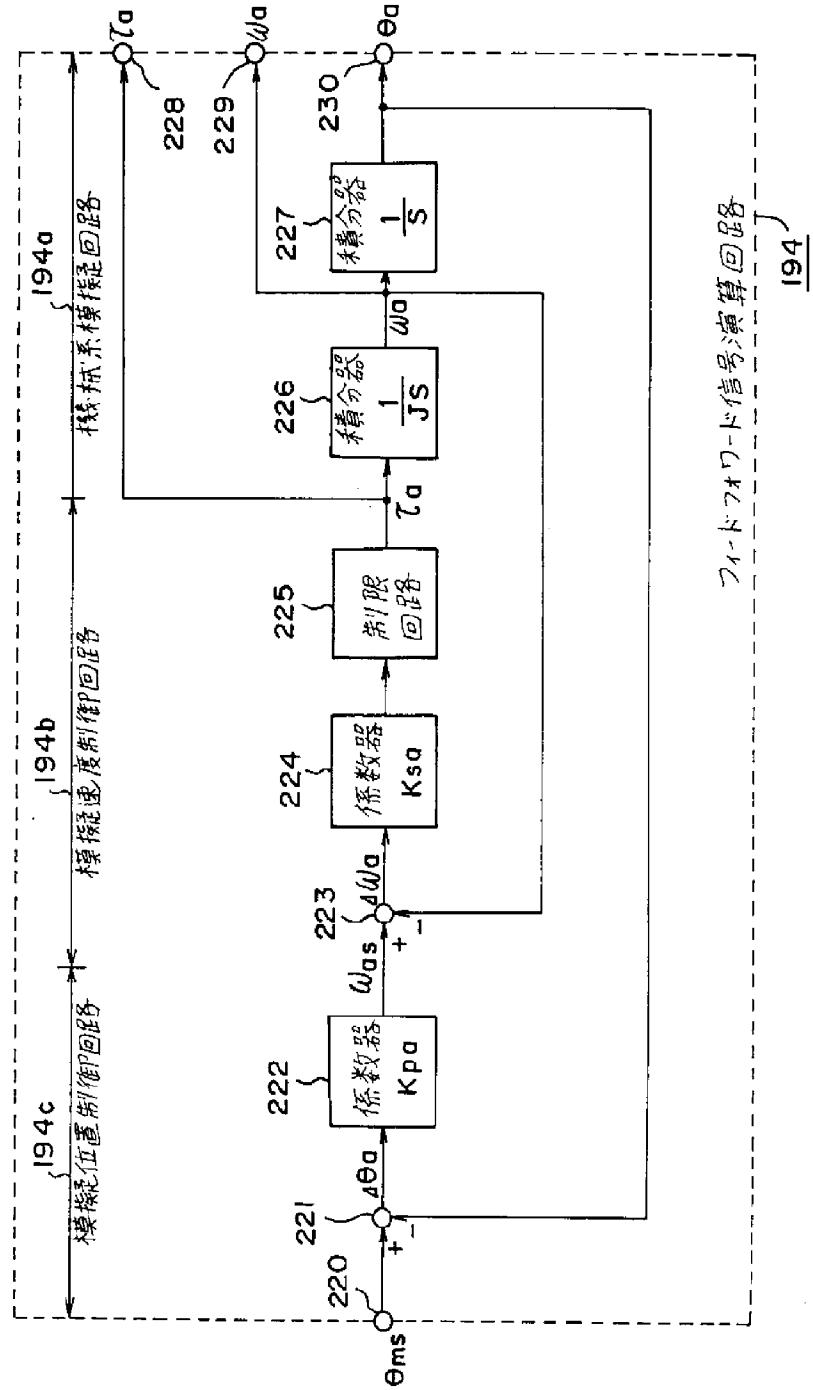
【図22】



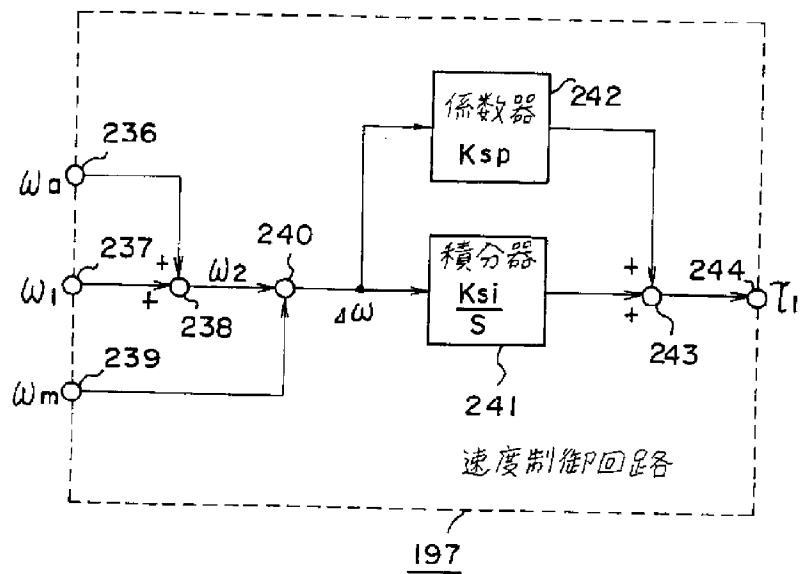
【図24】



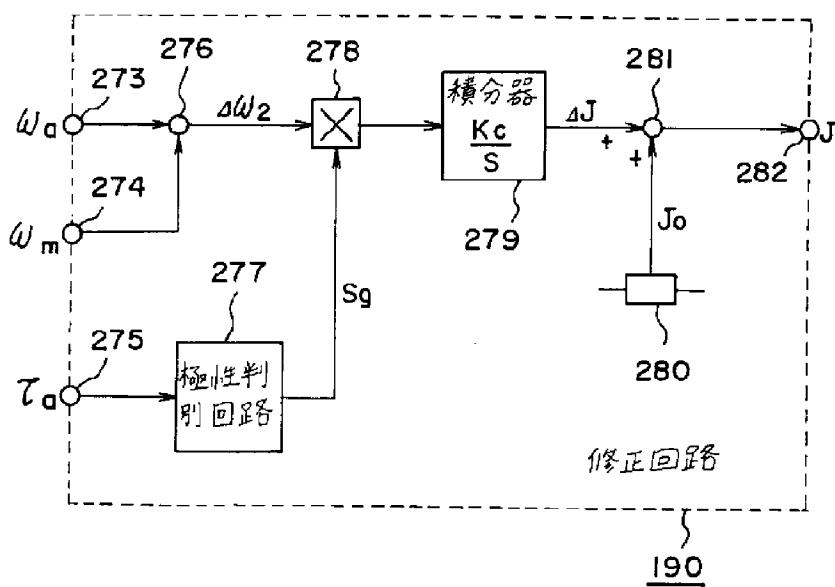
【图25】



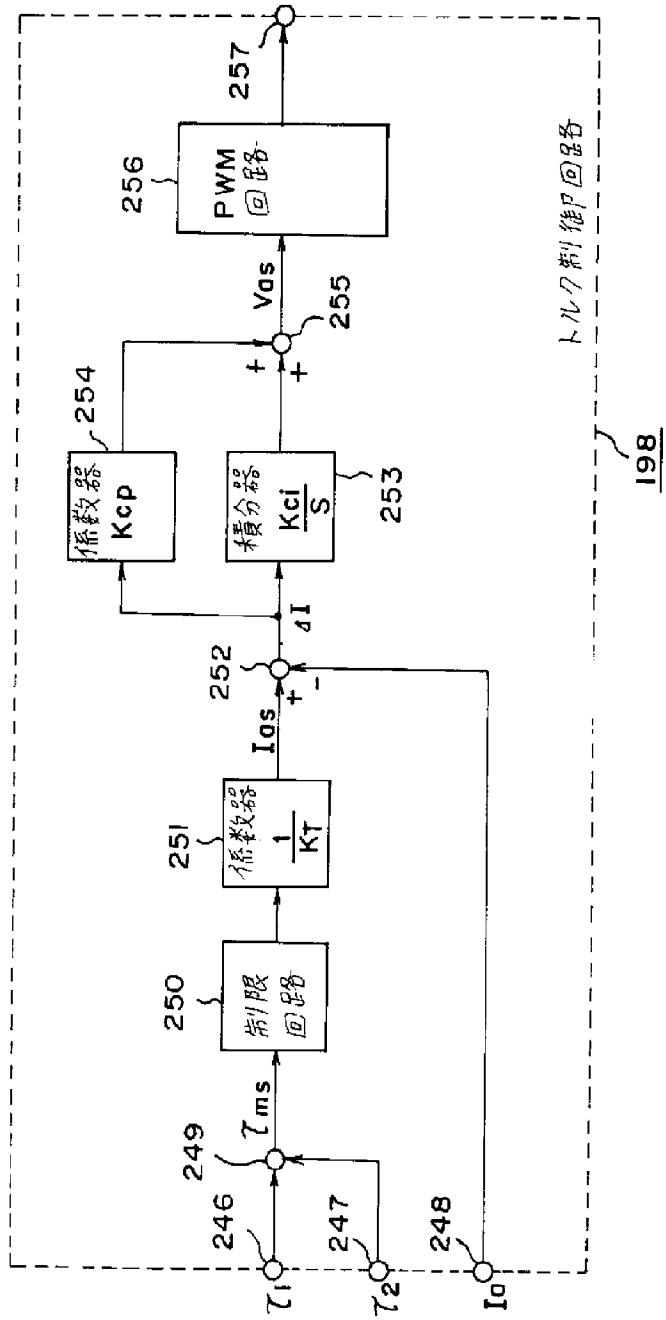
【図27】

197

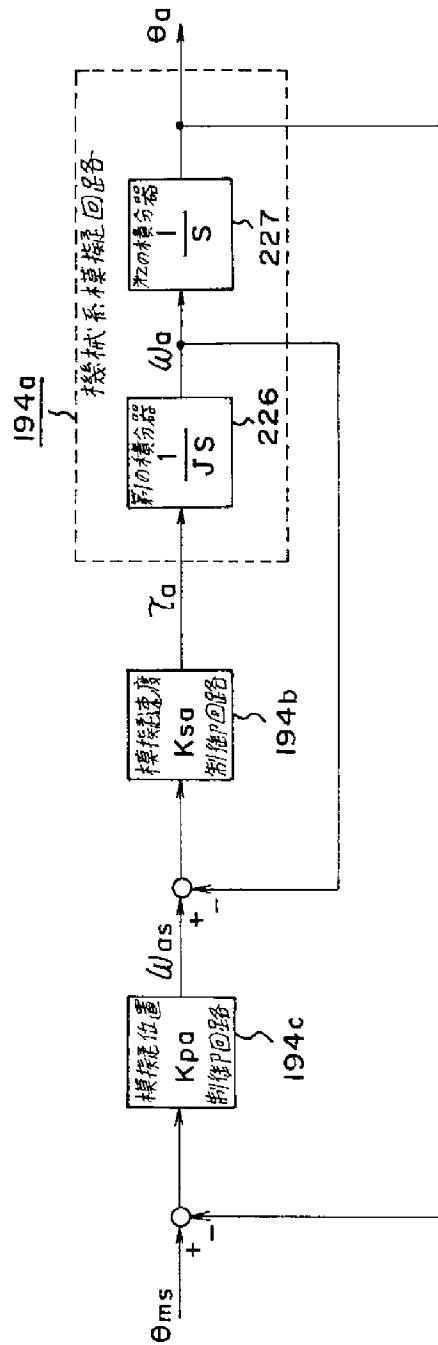
【図32】

190

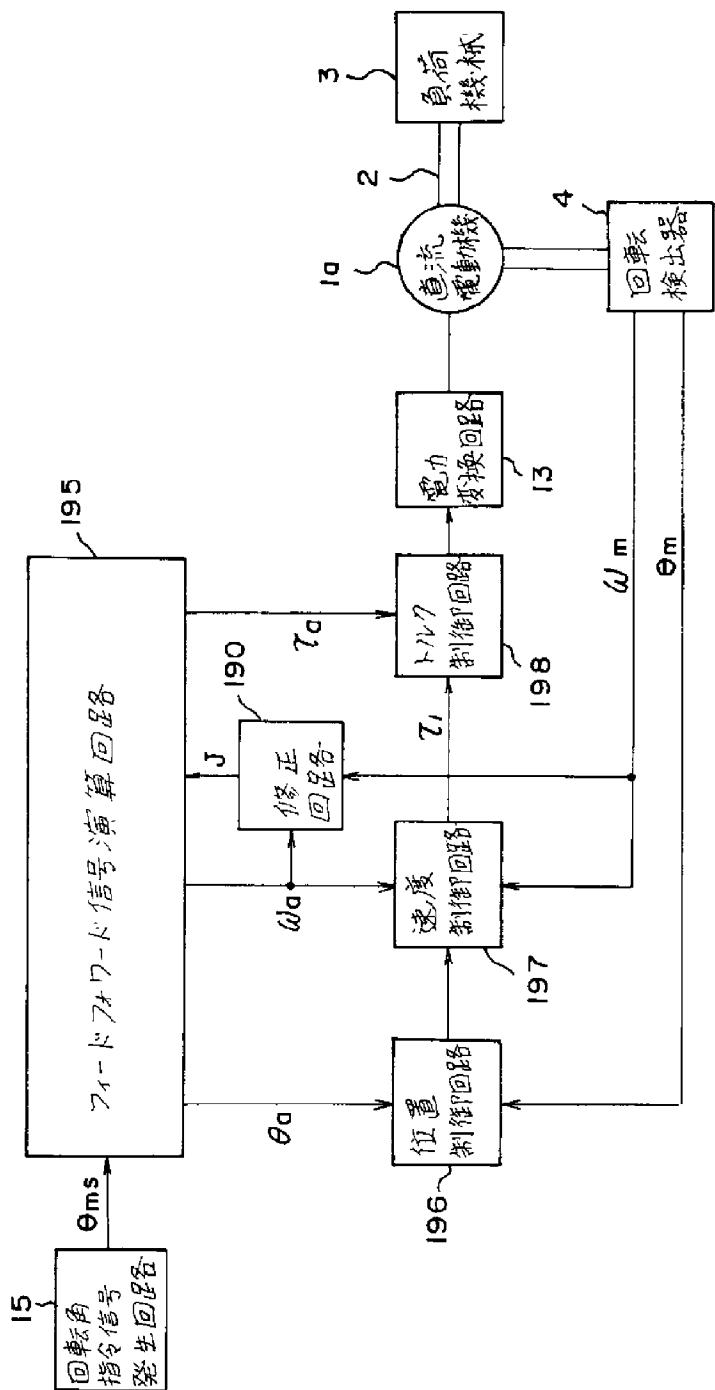
【図28】



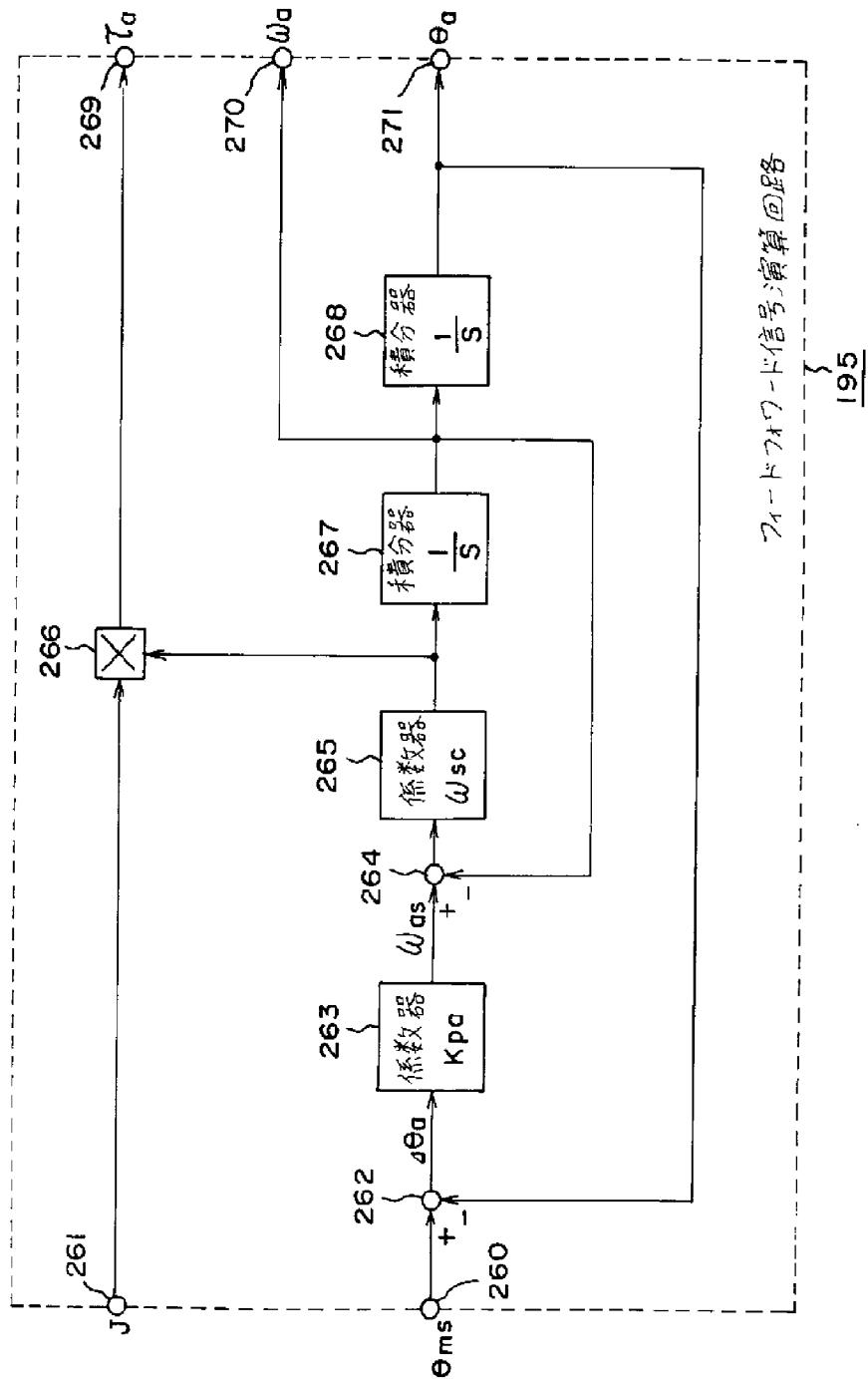
【図29】



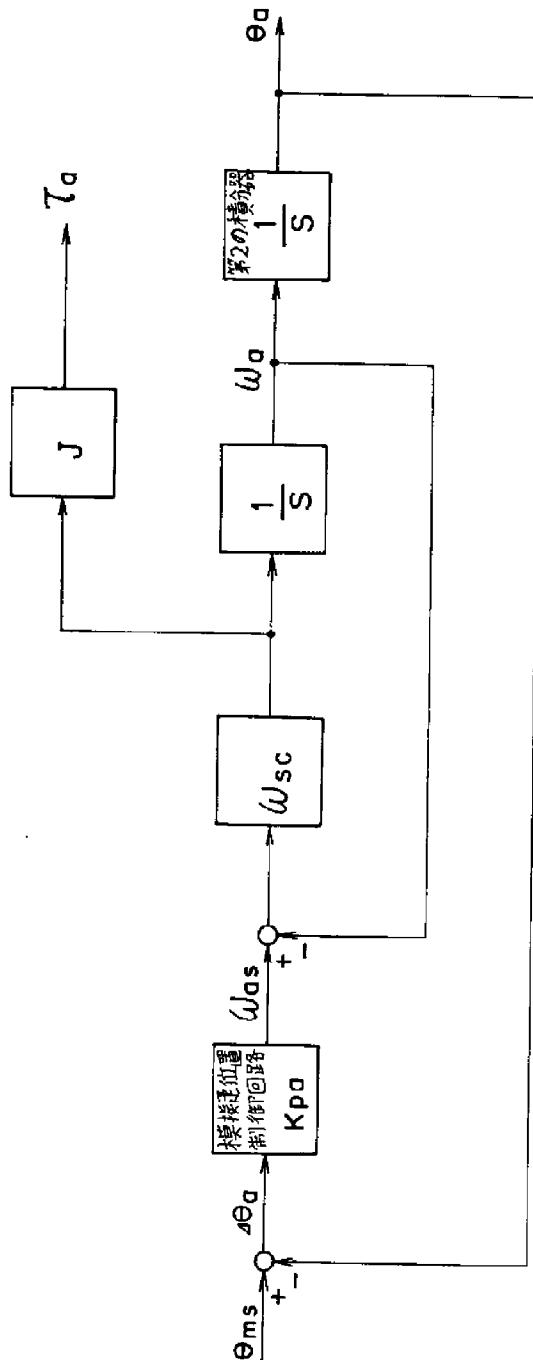
【図30】



【図31】



【図33】



【図34】

